F. C. Donders Vers

Versuch einer gene

Das Gesichtsfeld mit
des Auges haben sich u
entwickelt und stehen
Beziehung. Um die Bew
ihren Ursprung und ihre
Kenntniss dieser Beziehun
selben für jeden der Bewe
[illegible] um diess mit gute
diese, dass wir uns eine
selbst machen. Ich beabsi
wegungen überall der ihre
kann dabei die Wiederh
werden, so wird sich doch
in der letzten Zeit durch
angestellten Untersuchunge
Convergenz-Bewegungen un
ich gelangt bin, eine Ue
[illegible] nicht unerwünscht

Ich werde nicht im S
[illegible] des grossen Thema z
zufrieden geben mit den
Erscheinungen selbst durc
Darum habe ich mir zur
Versuche den Weg zur Wah

1) Onderzoekingen gedan
[illegible] Hoogeschool. Derde Reeks
2) Onderz. physiol. [illegible]
3) Archiv für Ophthalmo
[illegible]

H78.



(8)

# Versuch einer genetischen Erklärung der Augen-Bewegungen.

Von

**F. C. Donders.**

---

Das Gesichtsfeld mit seinen Localzeichen und die Bewegungen des Auges haben sich unter gegenseitigem Einflusse auf einander entwickelt und stehen sonach unter einander in einer sehr engen Beziehung. Um die Bewegungen zu erklären, — um Einsicht in ihren Ursprung und ihre Bedeutung zu erlangen, wird eine genaue Kenntniss dieser Beziehung gefordert. Wir werden trachten, denselben für jeden der Bewegungstypen zu erforschen. Die erste Bedingung, um diess mit gutem Erfolge thun zu können, ist inzwischen diese, dass wir uns eine klare Vorstellung von den Bewegungen selbst machen. Ich beabsichtige darum, die Untersuchung der Bewegungen überall der ihres Ursprungs vorangehen zu lassen; und kann dabei die Wiederholung bekannter Dinge nicht vermieden werden, so wird sich doch, wie ich glaube, zeigen, dass nach den in der letzten Zeit durch van Moll[1]), Mulder[2]) und Küster[3]) angestellten Untersuchungen und den neuen Ergebnissen bezüglich Convergenz-Bewegungen und symmetrische Rollbewegungen, zu denen ich gelangt bin, eine Uebersicht der Augenbewegungen im Allgemeinen nicht unerwünscht wäre.

Ich werde nicht im Stande sein, mehr als einen kurzen Abriss des grossen Thema zu geben. Viele dürften sich aber nicht zufrieden geben mit den Resultaten, sondern auch wünschen, die Erscheinungen selbst durch eigene Anschauung kennen zu lernen. Darum habe ich mir zur Regel gemacht, durch Angabe einfacher Versuche den Weg zur Wahrnehmung der Erscheinungen zu zeigen.

---

1) Onderzoekingen gedaan in het physiologisch laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool, Derde Reeks. D. III. p. 39.

2) Onderz. physiol. lab. Derde Reeks. D. III. p. 118.

3) Archiv für Ophthalmologie. B. XXII. II. 1. S. 149.



184530

Wer sich die Mühe giebt, diese zu wiederholen, wird sich dann weiterhin leicht eine Vorstellung von den Hilfsmitteln und Methoden machen, welche zu ihrer gründlichen Untersuchung gedient haben, und deren Beschreibung ich darum in kurzen Worten zusammenfasse. Die beigefügten Nummern beziehen sich auf »de beschrijving der werktuigen van het physiologisch laboratorium en de ophthalmologische school van Utrecht«, welche in den Onderzoekingen D. IV. S. 1. ff. zu finden ist, während ich bezüglich einiger auf die ausführliche Erklärung in früheren Mittheilungen verweisen kann.

Weiter schien es mir angezeigt, so viel wie möglich den historischen Weg zu verfolgen, da hierbei allein sich aus den Thatsachen ein anschauliches Bild vor unseren Augen entwickelt.

---

In seinen Bewegungen mit denen eines Gelenkkopfes in dessen Pfanne vergleichbar, dreht sich das Auge um einen nahezu festen Punkt, der nur wenig hinter der Mitte des Sclera-Ellipsoids gelegen ist (Donders u. Doyer). Die vom fixirten Punkt nach dem Drehpunkte gezogene Linie ist die Blicklinie. Ausgehend vom Hauptblickpunkte — horizontale, bei aufrechtem Kopfe gerade nach vorne gerichtete Blicklinien — betragen die Excursionen derselben ungefähr 42° nach aussen, 45° nach innen, 34° nach oben, 57° nach unten (Bloemert Schuurmann).

In den Bewegungen der Augen verräth sich eine gegenseitige Abhängigkeit. Auf einen und denselben Impuls richten sie sich beide zugleich nach oben und unten, nach rechts und nach links. Die Ebene, die durch die Blicklinie beider Augen gelegt ist, ist nun die *Blickebene*; die sämmtlichen Punkte, auf welche sie sich richten können, bilden das *Blickfeld*; die Linie, welche die beiden Bewegungscentra oder Drehpunkte verbindet, heisst die *Grundlinie*.

Mit Rücksicht auf die optische Funktion unterscheiden wir schon von vornherein zwei Typen der Bewegung. Der eine wird repräsentirt durch *das Sehen auf Abstand*, bei aufrechtem Kopfe, parallelen Blicklinien, Entspannung der Accommodation. Der andere ist *das Sehen in der Nähe*, mit gesenktem Kopfe, abwärts gerichteter Blickebene, convergirenden Blicklinien und Anspannung der Accommodation. Auch die Convergenz, selbst wenn sie nicht symmetrisch ist, gehorcht einem und demselben Impulse für beide Augen. Sowohl bei convergirender als bei paralleler Richtung können

die Blicklinien beinahe das ganze Blickfeld durchlaufen, und in beiden Fällen haben auch der Kopf und subsidiär der Rumpf die Neigung, sich in gleichem Sinne zu bewegen und so die Grösse der Augenbewegungen zu beschränken.

Ausser den genannten Typen haben wir *zwei Formen von selbstständiger Rollbewegung*, Drehung um die Blicklinie, zu unterscheiden: die *symmetrische*, wobei die Drehung für beide Augen in entgegengesetzter Richtung Statt hat, und die *parallele*, wobei die Drehung beider Augen nach derselben Seite geschieht. Bei jeder dieser Drehungen ist der Impuls für beide Augen wieder gemeinschaftlich.

Diese vier Bewegungsformen werden wir gesondert betrachten.

## I. Paralléle Blicklinien.

Als ich meine Studien über die Augenbewegungen begann[1]), war man gewohnt von den Muskeln auszugehen, um aus der angenommenen Wirkung dieser die Bewegungen zu construiren. Ich erkannte, dass dieser Weg nicht der richtige sein konnte, indem kein Grund vorhanden war, alle denkbaren Combinationen — angenommen auch, man könnte ihren Effect genau voraussehen — als wirklich vorkommende anzunehmen, und man so stets Gefahr lief, sich in Fictionen zu verlieren. Erst die Bewegungen festzustellen, darnach nach den bewegenden Kräften zu fragen, war das leitende Princip meiner Untersuchung. Sehr glücklich kam mir dabei die Methode zu Statten, deren Idee und erste Anwendung wir Ruete verdanken, — ich meine die Methode der Nachbilder. Das Princip ist einfach: ein lineäres Nachbild verräth uns nach ausgeführter Bewegung die Richtung des Meridians, welcher vor der Bewegung ein linienförmiges Bild empfangen hatte.

Welchen Weg die Blicklinie durchläuft, folgt aus der Bestimmung der zwei Punkte, welche das Auge hintereinander fixirt. Früher nahm man an, dass die secundäre Stellung des Auges, in Bezug zur primären, damit gegeben war. Diess war ein Irrthum. Wir müssen ersichtlich auch die bezügliche Richtung der Meridiane vor und nach der Bewegung kennen; wir müssen wissen, ob, und, wenn wirklich,

---

1) Holländische Beiträge zu d. anatom. und physiolog. Wissenschaften. Bd. 1. S. 1847.

in welchem Sinne das Auge dabei um die Blicklinie gedreht ist. Diess nun lehren uns die Nachbilder. Nachbilder entstehen, wenn man erst einen Punkt ungefähr 20 Sec. lang scharf fixirt, dann den Blick am liebsten auf einer gleichmässig grauen Fläche *unbeweglich ruhen lässt*: hierauf kommt es an. Nach einigen Secunden erscheint dann das Nachbild.

An einer verticalen Wand hänge man ein stark gefärbtes Band vertical auf, stelle sich mit aufrechtem Kopfe auf einen Abstand von wenigstens einigen Metern dem Bande gerade gegenüber und richte, während das eine Auge bedeckt ist, den Blick des anderen horizontal auf einen und denselben Punkt des Bandes. Hierbei entsteht ein Bild im verticalen oder primären Netzhautmeridian, von welchem das Nachbild überall erscheint, wo man nachher den Blick auf der Wand ruhen lässt. Man lasse ihn längs einer horizontalen Linie hingleiten: das Nachbild fällt überall mit dem Loth zusammen; man richte ihn nach oben oder nach unten: das Nachbild bleibt vertical in der Verlängerung des Bandes. In beiden Fällen also bleibt der verticale Meridian vertical. Mit dem Stande des Kopfes, welcher diesen Bedingungen genau entspricht, und mit horizontalen, zur Grundlinie senkrechten Blicklinien, ist die Primärstellung gegeben. Blickt man rechts oder links und gleichzeitig nach oben oder unten, dann zeigt sich bei erhobener Blickebene das Nachbild an der Wand nach derselben, bei gesenkter Blicklinie nach der entgegengesetzten Seite geneigt. Der verticale Meridian bleibt dann nicht vertical.

Durch diese Versuche war bewiesen, dass das Auge, indem es, von der Primärstellung aus, sei es gerade nach oben oder unten, sei es nach rechts oder links, sich bewegt, *um eine Axe sich dreht, welche senkrecht auf jener Ebene steht, in welcher die Blicklinie in ihrer primären und secundären Stellung gelegen ist.*

Und um welche Axe dreht sich das Auge bei den Bewegungen in schiefer Richtung nach oben oder unten?

Listing sprach die Hypothese aus, dass dafür dieselbe Formel Geltung habe, dass auch dabei das Auge sich um eine Axe drehe, welche auf der Ebene senkrecht steht, in welcher die Blicklinie in ihrer primären und secundären Stellung gelegen ist. Das war wohl die einfachste Lösung des Problems. Die Entscheidung über die Richtigkeit der Lösung liess aber lange auf sich warten. Ebensowenig als meine Untersuchungen, wobei die Neigung von Nach-

bildern verticaler Linien bestimmt wurde, hatten die von Meissner, von Wundt und von Fick eine endgültige Antwort gegeben. Helmholtz stellte das Ei auf die Spitze[1]). Er spannte durch den Hauptblickpunkt Bänder in schiefer Richtung und überzeugte sich, dass gerade so wie die Nachbilder verticaler und horizontaler Bänder, auch die der schiefen nun in ihrer eigenen Richtung fortschreiten, wenn der Blick der Richtung des Bandes folgt. Demnach behält der Meridian, worin das Bild eines solchen Bandes liegt, bei der fortschreitenden Bewegung unveränderlich seine Stellung. Demnach liegen primäre und secundäre Blicklinie im nämlichen Meridian, und dreht sich das Auge um eine zu diesem Meridian, wie zu der primären und secundären Richtung der Blicklinie, senkrechte Axe. Ein anschaulicherer Beweis ist nicht zu liefern. Damit ward die Hypothese von Listing zum Gesetze erklärt.

Man sieht sofort ein, dass nach diesem Gesetze für alle von der Primärstellung ausgehenden Bewegungen die Axen in einer und derselben Ebene liegen, welche senkrecht zur Blicklinie durch den Drehpunkt gelegt ist und *Hauptaxenebene* heisst. Das einfache Phaenophthalmotrop (No. 30, ferner: Onderzoekingen. 2. Ser. D. III. S. 119) macht diess anschaulich. In einem äussersten festen Reif ist ein zweiter Reif drehbar, welcher die Hauptaxenebene darstellt: man kann nämlich durch diese Drehung einer in dem zweiten Reife liegenden Axe alle mögliche Richtungen geben, und dadurch den künstlichen Augapfel aus der primären in alle secundären Stellungen bringen. Ehe man das Auge bewegt, stellt man die Arme eines darauf drehbaren Kreuzes vertical und horizontal: nach der Bewegung zeigen diese Arme dann die Stellungen an, welche verticaler und horizontaler Meridian angenommen haben. Früher schon hatte sich mir gezeigt, dass, auf welchem Wege die Blicklinie auch eine gewisse Richtung erlangt haben mochte, die dazu gehörige Stellung des Auges (bei parallelen Blicklinien und aufrechter Kopfstellung) unabänderlich dieselbe ist. Dieses Resultat hat Helmholtz das Gesetz von Donders genannt.

Mit einem kleinen Apparate (No. 37) kann man nun die beiden Gesetze controlliren. Er besteht aus einem gebogenen Holzstäbchen, das am einen Ende ein Mundstück trägt, welches man zwischen die Zähne klemmt, am andern Ende einen farbigen Streifen, welcher

1) Archiv f. Ophthalmologie. Bd. IX. H. 2. S. 163.

um eine durch den Drehpunkt des Auges gehende Axe beweglich ist: wenn man nach vorausgängiger Fixation längs der Axe das oberste Ende des Streifens fixirt, dann sieht man das Nachbild in der Verlängerung des Streifens, ohne Unterschied, welches diese Richtung sein (Gesetz von Listing) und auf welchen Umwegen die Blicklinie das Ende erreicht haben möge (Gesetz von D.)[1]).

Das Gesetz von D. setzt uns in den Stand, aus dem Gesetze von Listing nun weiter die Bewegungen aus einer in die andere Stellung abzuleiten.

Wie geschehen die Bewegungen?

In erster Linie folgt aus den Gesetzen von Listing und D., dass sämmtliche Axen, um welche das Auge sich dreht, um aus einer gegebenen Secundärstellung in alle anderen Secundärstellungen überzugehen, wieder in der nämlichen Ebene liegen: soviele Secundärstellungen des Auges es giebt, soviele Axenebenen.

Die Ebenen sind leicht zu finden. Die Ebene, welche den Winkel zwischen der Hauptaxenebene in der Primärstellung und in der Stellung, in welche sie durch irgend eine Bewegung des Auges gebracht ist, halbirt, ist die *secundäre Axenebene* für die nun eingenommene Stellung des Auges[2]).

Um nun weiter auch die Axe zu finden für die Bewegung von einer bestimmten Secundärstellung $b$ aus in eine bestimmte Secundärstellung $b'$, hat man nur die secundären Axenebenen $B$ und $B'$ gesondert für jede dieser beiden Stellungen zu suchen: die Linie, worin diese Ebenen einander schneiden, ist die gesuchte Axe. Denn aus $b$ nach $b'$ übergehend, muss das Auge sich drehen um eine Axe in der Axenebene $B$; aus $b'$ nach $b$ übergehend, um eine Axe in der Axenebene $B'$; — in beiden Fällen natürlich um dieselbe Axe: demzufolge um jene Linie, in der die Ebenen $B$ und $B'$ sich schneiden.

Senkrecht auf der secundären Axenebene steht die sogenannte atrope (nicht drehende) Linie; die Blicklinie aber steht nicht senkrecht darauf, und sie beschreibt desshalb im kugelförmigen Gesichtsfeld

1) In wie weit das Gesetz von Listing gültig bleibt bei dauernder seitlicher Neigung des Kopfes, mit welcher, wie gezeigt werden soll, parallele Rollbewegung verbunden ist, soll dieser einfache Apparat ebenfalls kennen lehren.

2) Den mathematischen Beweis s. Helmholtz, Physiologische Optik. Seite 492.

keinen grössten, sondern einen kleinen Kreis, von Helmholtz *Directionskreis* genannt.

Von den Directionskreisen macht man sich leicht eine Vorstellung. Man versetze sich auf die hohe See, den Hauptblickpunkt sich gerade gegenüber und am Horizont, den Occipitalpunkt diametral entgegengesetzt hinter sich, und blicke, ohne den Kopf zu bewegen, von einem Sterne zu einem anderen, den man indirect wahrnimmt. Jedesmal beschreibt die Blicklinie dabei einen Bogen am Himmel, und dieser Bogen ist ein Stück eines Directionskreises. Könnte das Auge sich um die nämliche Axe weiter drehen, so würde *die Blicklinie durch den Occipitalpunkt gehen.* Durch diese Eigenschaft sind alle Directionskreise bestimmt, und sie sind ersichtlicherweise nur dann grösste Kreise, wenn sie auch durch den Hauptblickpunkt gehen. Und will man einen Directionskreis im Raume sehen, so bewege man den Blick von einem Punkt zum andern durch den hellen Mond oder durch die Sonne hin: wo der Blick dann ruht, erscheint jener, freilich meistens nicht ohne kleine Biegungen, als Nachbild am Himmel. Auf den Directionskreisen verschiebt sich ein linienförmiges Nachbild, überall damit zusammenfallend, gerade wie auf den Meridianen, welche durch den Hauptblickpunkt gehen.

Ich habe mit Dr. Küster einen Apparat construirt und Cycloscop genannt (No. 48; ferner: Onderzoekingen. Ser. 3 D. IV.), welcher die Directionskreise und überdem alle anderen Kreise, welche man im Blickfelde zu unterscheiden hat, veranschaulicht. Er besteht aus einem Bogen, mit auf einer Anzahl von verschiebbaren Punkten überspringenden Inductionsfunken, und aus einem Stuhl mit Kopfhalter, durch welchen der Kopf im Primärstande gehalten wird, und zwar so, das der Drehpunkt des Auges mit dem Krümmungsmittelpunkte des Bogens zusammenfällt. Durch Drehung um verschiedene Axen kann man diesem Bogen die Richtung sämmtlicher Meridiane (die durch die primär gerichtete Blicklinie gehen), sämmtlicher diesen Meridianen entsprechenden grössten Kreise, und sämmtlicher Directionskreise, — sowie, durch Auf- und Niederschieben in einem Stativ, die Richtung von Parallelkreisen geben. Während das eine Auge, bei Bedeckung des anderen, bei gut fixirtem Kopfe, von der Primärstellung aus eine entfernte leuchtende (mit Phosphor bestrichene) Stelle in einem übrigens vollkommen dunklen Raume fixirt, kann man die Punkte, wo schnell übereinander folgende Inductionsfunken überspringen, sich als entfernte Sterne vorstellen und in

abstracto urtheilen, welchen Eindruck bezüglich der Richtung der Kreise, welche die Punkte bilden, man sowohl bei indirecter Wahrnehmung vom Hauptblickpunkte aus, als bei directer Fixation erhält. Dr. Küster[1]) hat diesen Apparat beschrieben und seine damit gewonnenen Resultate ausführlich mitgetheilt. Hier sei nur bemerkt, dass während, von der Primärstellung aus gesehen, grösste Kreise nach dem Hauptblickpunkte concav, Parallelkreise nach demselben convex scheinen, die Directionskreise sich als gerade Linien im Raume zeigen, und dass sie auch bei Verschiebung des Blicks über den Directionskreis hin ihre Richtung unverändert beibehalten. Ferner kann man ein farbiges Band auf dem Directionsbogen befestigen und die Verschiebung des Nachbildes auf dem Bogen constatiren. Die Bedeutung dieser Ergebnisse für den Ursprung der Gesichtsvorstellungen im Raume soll später einleuchten[2]).

Wir haben darauf hingewiesen, dass bei der Bewegung aus der einen Secundärstellung in die andere die Blicklinie nur dann auf der Drehungsaxe senkrecht steht, wenn jene durch den Hauptblickpunkt geht. Demzufolge ist die Bewegung in allen anderen Fällen mit einer Drehung um die Blicklinie gepaart. Diese Drehung um die Blicklinie, von Helmholtz *Raddrehung* genannt, darf man vor Allem nicht mit der *selbständigen Rollbewegung* zusammenwerfen, von der wir unter III und IV handeln werden. Sie ist der einfache Ausfluss der Gesetze von Listing und D. Das Auge kann nämlich, beim Uebergang aus der einen Secundärstellung in die andere, nicht ohne Raddrehung die Stellung einnehmen, welche es, aus der Primärstellung auf geradem Wege dahin übergehend, angenommen haben würde. Mittels des zusammengesetzten Phenophthalmotrop (No. 31; ferner: Onderzoekingen. 2. Ser. D. III. S. 119) lässt sich diess in gewissem Maasse anschaulich machen. Man kann damit in erster Linie durch Drehung um eine einzige Axe, entsprechend dem Gesetze von Listing, der Blicklinie eine gewisse Richtung geben, z. B. schief nach oben, und die derselben entsprechende Stellung des Kreuzes constatiren. Aber in zweiter Linie

1) Archiv für Ophthalmologie. B. XXII. H. 1. S. 149. 1876.

2) Ohne Cycloscop, unter Zuhilfenahme von Projectionen der Directionslinien und von Sternen am Himmel, war Helmholtz (Physiologische Optik S. 548 u. ff.) bereits zu einem grossen Theile der Resultate gelangt, welche von Küster beschrieben wurden, und welche nun für einen Jeden mit dem Cycloscop anschaulich zu machen sind.

kann man, wieder von der Primärstellung ausgehend, der Blicklinie aufs Neue die nämliche Richtung schief nach oben geben, indem man sie erst um eine vertikale Axe rechts und dann um eine horizontale Axe nach oben dreht, oder umgekehrt, — in beiden Fällen also um eine senkrecht zur Blicklinie stehende Axe d. h. ohne Drehung um die Blicklinie. Aber nun zeigt sich, dass in diesem zweiten Falle das Kreuz, welches die Stellung der Meridiane andeutet, anders gerichtet ist als im ersten Falle: um ihm gleiche Richtung zu geben wird eine Drehung um die Blicklinie nothwendig sein. Und, im Widerspruch hiermit hat das lebende Auge, indem es sich erst rechts und dann nach oben (oder umgekehrt) bewegt, in allen Stücken die nämliche Stellung, als ob es unmittelbar, durch Drehung um eine Axe, nach rechts oben gerichtet wäre. Die Bewegungen des Auges weichen also von denen des Phänophthalmotrop ab. Die Verschiedenheit liegt nicht in der Bewegung aus der Primärstellung *a* in die secundäre Stellung *b*, sondern in jener aus der secundären *b* in die secundäre *b'* — und diese geschieht also in Wirklichkeit um eine Axe, welche eine Componente auf die Blicklinie hat. Diese Componente giebt die Raddrehung von Helmholtz. Sie offenbart sich in einer Richtungsveränderung der Gegenstände. Vier Punkte, 1, 2, 3, 4, auf einer entfernten Wand, stellen die vier Winkel eines Quadrats vor (Fig. I). Die zwei untersten 1, 2 liegen in der horizontalen Blickebene; 1 sei der Hauptblickpunkt. Man bewege nun monocular den Blick von 1 nach 2, nach 3, oder längs der Diagonale nach 4: alle Raddrehung bleibt aus, und die Linien, welche die Punkte verbinden, behalten ihre Richtung. Bewegt man aber den Blick von 2 nach 4, oder von 3 nach 4 (auch umgekehrt), so sieht man die Richtung der Linien (auch die der Nachbilder von in den betreffenden Richtungen ausgespannten Bändern) sich ändern: dies ist die Wirkung der begleitenden Raddrehung von Helmholtz.

Fig. I.

Wir kennen nun die Gesetze von Listing und D. mit allen

ihren Consequenzen. Können wir nun auch von ihrem Ursprunge Rechenschaft geben?

Helmholtz versuchte diess vom empiristischen Standpunkte aus. Was das Gesetz von D. betrifft, so sucht er es aus dem »Princip der leichtesten Orientirung für die Ruhestellung des Auges« zu erklären. Kehrt der Blick nach Bewegung zu einem fixirten Gegenstande zurück, dann erkennt man denselben als in Ruhe geblieben, wenn sein Bild wieder dieselben Punkte der Netzhaut trifft.

Aber auch ohne das Object aufs Neue zu fixiren, sagt Helmholtz, wollen wir unterscheiden, ob es bei und nach der Bewegung in Ruhe blieb. Diess wird, bemerkt er, am leichtesten sein, wenn, unabhängig vom Stande des Auges, die Verschiebung von allen Punkten eines Bildes, beim Wenden des Blicks vom einen auf das andere, stets die nämliche ist. Diese Bedingung ist indessen nicht zu verwirklichen. Sie setzt nichts Geringeres voraus, als dass beim Uebergange von der einen secundären Stellung in die andere Raddrehung gleichfalls gänzlich ausbleibe. Das höchste Erreichbare aber ist, dass die Raddrehung so gering wie möglich sei, — »dass die Summe der Fehlerquadrate für alle vorkommenden unendlich kleinen Bewegungen des Auges ein Minimum wäre«. Und diess ist, wie die analytische Behandlung zeigt, durch ein kreisförmiges Blickfeld (mit dem Hauptblickpunkt im Centrum), worin ungefähr das Auge sich bei parallelen Blicklinien zu bewegen pflegt, mit dem Gesetze von Listing nahezu verwirklicht. Hierin sucht dann Helmholtz den Grund, wesshalb die Bewegungen sich nach diesem Gesetze bilden müssten.

Dass Helmholtz bei seiner Erklärung ausschliesslich individuelle Erfahrung zu Hülfe nimmt, ist für mich kein Grund zum Vorwurf. Bringe ich diejenige der Vorgeschlechter gleichfalls in Rechnung, — diese geschah unter den nämlichen Bedingungen wie die individuelle, und die Erklärung kann also dieselbe bleiben. Uebrigens auch Helmholtz ist nicht so exclusiv. Schon hinsichtlich der Bewegung erkennt er an, »dass wenn der Augenmuskelapparat vieler Generationen hinter einander sich den Bedürfnissen der Individuen angepasst hat und sich seine Anordnung auf die Nachkommen vererbt, für die factische Herbeiführung der zweckmässigsten Raddrehungen des Auges der Umstand, dass sie die leichtesten sind, ausserordentlich günstig einwirken muss (S. 486). Anderswo giebt er zu (S. 799), dass für gewisse Innervationen durch das erbliche Moment der Weg gebahnt sein kann. Und sollte er leugnen

wollen, dass in der Netzhaut mit ihren foveae centrales und der scharf bestimmten Sehnervenausbreitung, wenn nicht die Localzeichen repräsentirt, doch die Bedingungen ihres Entstehens in einem bestimmten Sinne bereits bei der Geburt angelegt seien? Helmholtz wollte nur eine Probe liefern, dass unsere Vorstellungen sich aus individueller Erfahrung erklären lassen, ohne mit dem Gelingen dieses Versuches die empiristische Theorie für bewiesen zu erachten. In der That reichen Empiristen und Nativisten einander die Hand. Den letzteren, in dem von mir vertretenen Sinne, gilt Erfahrung gerade so gut als Grundlage jeder Vorstellung wie den ersteren: sie unterscheiden sich lediglich in dem Antheil, welchen sie dem Phylon oder dem Individuum zuschreiben. Und wo ist der Maassstab, um diesen Antheil zu bestimmen? Was bei der Geburt nicht manifest ist, kann virtuell, in seinen Bedingungen, gegeben sein, und nach der Geburt, bei der weiteren Ausbildung, verschmelzen die Wirkung dieser Bedingungen und der Einfluss der individuellen Erfahrung zu einem untheilbaren Ganzen zusammen. Einzig so kann man fragen, was bei der Geburt manifest ist; und wenn schon der Mensch sich mehr als die meisten Thiere, mehr als Hühner und Meerschweinchen z. B., durch individuelle Erfahrung aneignen muss, so offenbart sich die Erfahrung der Vorgeschlechter doch auch bei ihm auf die bestimmteste Weise. Mit Engelmann nahm ich binoculäre Fixation, mit Veränderung der Convergenz, bei einem männlichen Kinde kaum eine Stunde nach der Geburt wahr (sicher eine Ausnahme), und bei einem absolut blind Geborenen fand ich parallele Augenbewegungen in allen Richtungen. Dass man bei Hunden durch Reizung bestimmter Punkte der Corpora quadrigeminea, wie Adamük in meinem Laboratorium nachwies, die gewöhnlichen *gemeinschaftlichen* Bewegungen der beiden Augen auslösen kann, scheint auch eine vielbedeutende Thatsache. Aber ich wiederhole, der individuell-empiristischen Vorstellung, die Helmholtz gegeben, entnehme ich keinerlei Bedenken gegen seine Erklärung.

Ich habe zwei andere Einwürfe.

Mein erster Einwurf ist darin gelegen, dass Raddrehung im Allgemeinen die Orientirung so wenig beeinträchtigt. A priori meinte Helmholtz selbst, dass ihr Einfluss wohl durch eine gewisse Compensation beseitigt sein könnte. Es zeigte sich inzwischen, dass sie sichtbar bleibt. Aber wie? In der That nur kraft einer gewissen Abstraction. Unbewusst verbinden wir die Factoren un-

serer Vorstellung, und dann bemerken wir von der Raddrehung nichts. Erst wenn wir bestrebt sind, uns die Verschiebung vorzustellen, abgelöst von der Bewegung, unter deren Einfluss sie zu Stande kam, sehen wir in der Peripherie des Blickfeldes die Linien, welche nicht in den von uns mit dem Blick verfolgten Meridianen liegen, ihre Richtung ändern. Auf gleiche Weise lässt sich bei willkürlicher Bewegung der Augen und vor Allem des Kopfes die Verschiebung über die Netzhaut als Bewegung der Gegenstände denken. Ja noch mehr: wenn man von der Primärstellung aus den Blick auf ein sehr peripherisch gesehenes Object richtet, kann man die Vorstellung, dass das Object sich dem Hauptblickpunkte nähert, nicht einmal unterdrücken. Und — man beachte! — während wir eine im Blickfelde seitlich gelegene verticale Linie continuirlich ihre Richtung verändern sehen (vergl. S. 381), halten wir sie doch überall, wo wir den Blick auf ihr ruhen lassen, für vertical: unbewusst bringen wir die Wirkung der Augenstellung in Rechnung. — Zudem kann man nicht wohl annehmen, dass sobald unser Blick auf ein zuvor fixirtes Object zurückkehrt, das Bild des unbewegten Objectes wieder dieselben Punkte der Netzhaut treffen werde. Denn jede Bewegung des Auges verbindet sich mit Bewegung des Kopfes, und die Stellung des Kopfes kehrt nach jeder Bewegung nicht mit Genauigkeit zurück. Und bringt man hier willkürlich eine Abweichung hervor, indem man beim Zurückkehren des Blickes den vorher bewegten Kopf still hält, dann wissen wir doch eben so gut, ob das Object in Ruhe geblieben ist. Merkwürdig ist es, wie wir alle constanten Factoren unbewusst compensirend verwerthen. Will man einen sprechenden Beweis: man fixire binocular ein nahe aufgehangenes Stäbchen und neige nun das Haupt langsam abwechselnd nach der einen und nach der anderen Schulter. Hierbei bestehen zuerst die genannten Bewegungen des Kopfes und eine damit verbundene Drehung um die Gesichtslinie, zweitens bewegen sich die Blicklinien durch einen sehr complicirten Mechanismus abwechselnd nach unten und nach oben und gleichzeitig nach links und rechts; anderseits verschieben sich die Bilder auf der Netzhaut in Folge dieser drei Arten von Bewegung, und ändert sich nicht allein die Neigung, sondern auch die Grösse der Halbbilder, weil abwechselnd das eine und andere Auge weiter vom Stäbchen entfernt ist. Und dessen ungeachtet erkennen wir das Stäbchen als in Form und Richtung unverändert und als an seine Stelle gebunden.

Aus dem Allem ziehe ich den Schluss, dass die Raddrehung, auch im Falle sie eine andere, wenn nur stets constant, wäre, die Orientirung nicht erschweren würde. Man kann sich sogar sehr gut denken, dass von der Raddrehung abhängige Scheinbewegungen unbewusst der Orientirung dienstbar werden.

Einen zweiten Einwurf meine ich darin zu finden, dass ich mir für den von Helmholtz supponirten Zweck den genetischen Grund nicht wirksam denken kann. Das ist indessen die Forderung: wir müssen den Zweck in das mehr oder minder bewusste Streben des Individuums verlegen können, um das Recht zu haben, die Verwirklichung durch das Gesetz der Uebung zu erklären, und würden den Beweis für ein derartiges Streben sogar noch gerne thatsächlich beigebracht sehen. Einige Schwierigkeit bereitet mir schon das erste Gesetz. Wie soll das Auge genöthigt werden, bei Rückkehr des Blicks denselben Stand einzunehmen? Wird er eingenommen, dann *wird*, wie Helmholtz sagt, das Object als in Ruhe verblieben erkannt werden. Aber *warum* wird er eingenommen werden? Diess ist nicht erklärt. Noch weniger befriedigend, vom genetischen Gesichtspunkte aus, ist die Erklärung des Gesetzes von Listing. Ist die Raddrehung wirklich störend, dann wird sich bei jeder Bewegung das Streben offenbaren, sie entweder gänzlich auszuschliessen oder sie wenigstens zu compensiren. Wie aber Streben dazu führen könnte, einen Typus zu schaffen, welcher die glücklichste Vertheilung der Störungen in sich schliesst und auf jeder Bahn sich Gehorsam verschafft, — vermag ich nicht einzusehen. Und, fehlt das causale Verständniss, ist dann die Erklärung wohl frei zu sprechen von jener verwerflichen Teleologie, welche nicht weiter geht denn nach einem Zweck zu rathen?

Rein teleologisch ist der Standpunkt, welchen Hering[1]) hinsichtlich der Frage einnimmt. Jede Wirkung, welche er für die Function des Sehens als wünschenswerth erachtet, erhebt er zum Princip, und er betrachtet es als interessant, zu erwägen, auf welche Weise die Principien sich so vereinigt denken lassen, dass die unvermeidlichen Widersprüche unter ihnen so gering wie möglich werden. Insbesondere behandelt er drei Principien: *„das Princip der einfachsten Innervation, des grössten Horopters, der vermiedenen Scheinbewegung“*, denkt aber noch an viele andere.

1) Beiträge zur Physiologie S. 259. Leipzig 1861.

Vom *Princip der einfachsten Innervation* gilt wohl dasselbe wie von Fick's *Princip der kleinsten Muskelarbeit*, dass es bei *jedem* lebenden Mechanismus nothwendig ist; das *des grössten Horopters* bezieht sich allein auf das Binocularsehen und fordert, auf das Sehen auf Abstand beschränkt, keine bestimmte Form, sondern allein Gleichheit der Bewegung; das *der vermiedenen Scheinbewegung* unterscheidet sich von dem von Helmholtz nur insofern, als es die günstigste Vertheilung der störenden Raddrehungen im Blickfelde nicht berücksichtigt: Hering begnügt sich zu constatiren, »dass das Princip der vermiedenen Scheinbewegung durch das Listing'sche Gesetz leidlich gut erfüllt ist, so weit das praktische Bedürfniss reicht«. Nirgends Zeichen einiges Streben nach einer genetischen Erklärung!

Es wäre das Ideal einer genetischen Erklärung, die Bewegungen in ihrer Beziehung zu der Entwickelung des Sehorgans durch die verschiedenen Entwickelungsphasen des Stammes zu verfolgen. Diess liegt aber noch gänzlich ausser unserem Bereiche. Wir können nur trachten, uns vom Ursprung der Bewegungen eine allgemeine Vorstellung zu bilden, unabhängig von allen Phasen und gleich anwendbar auf frühere Formen wie auf ein Kind von unseren Tagen, selbst mit der Voraussetzung dass dasselbe die Correlation zwischen den optischen Funktionen und den Augenbewegungen ausschliesslich durch persönliche Uebung entwickeln müsste. Eine derartige allgemeine Vorstellung ist möglich, da wir bei unserer Betrachtung gänzlich von der Form der Bewegungsorgane abstrahiren können, um einzig auf die Bewegungen zu achten; denn die Bewegungen brachten die Bewegungsorgane zur Ausbildung, nach den Gesetzen der Uebung und Vererbung, und die Form dieser Organe ist also secundär. Wie fehlerhaft es ist, aus den Organen die Bewegungsgesetze erklären zu wollen, tritt hiermit erst recht ans Licht.

Für die Entstehung der sogenannten »Sehsubstanz« suchen wir den Grund in der photo-chemischen Wirkung der Lichtwellen auf die sich organisirende lebende Materie. Aus den Bewegungen — anfänglich beinahe zufälligen — des Gesichtsorganes, schon in seiner einfachsten Form, leiten wir die Localzeichen ab, welche der »Sehsubstanz« inhärent sind. Einmal entwickelt, konnten diese umgekehrt ihren Einfluss auf die Bewegungen geltend machen. Jetzt noch sehen wir, wie später einleuchten wird, die Bewegungen, vorzüglich die binoculären durch die Localzeichen beherrscht, welche viel

mehr Stetigkeit verrathen als die stets sehr plastische Muskelwirkung. Wir können annehmen, dass ein bestimmter Theil, wahrscheinlich der centrale, unter Bedingungen stand, die sie zu einer Kernstelle (im Sinne Hering's) machten. Denken wir uns nun, dass bei dem gewöhnlichen Gleichgewichtszustand in den peripheren Theilen ein besonderer Eindruck entstand: die Neigung, die Kernstelle nach dem entsprechenden Theil des Gesichtsfeldes zu wenden — auch jetzt noch dem Gesichtsorgan eigen, — konnte dabei nicht ausbleiben. Unzweifelhaft geschah diess nun in dieser, dann in einer anderen Richtung und immer kehrte das Organ daraus in seine primitive Stellung, den Zustand relativer Ruhe, zurück. Anfänglich gebrach der Bewegung alle Sicherheit. Das Ziel wurde nicht direct, sondern tastend auf Umwegen erreicht. Auch die Drehung um die Blicklinie, sobald als von letzterer die Rede war, wird nicht gefehlt haben. Aber kein Umweg und keinerlei Drehungsrichtung hatte die Oberhand, und die mittlere, zu der Uebung leiten musste, war sonach der kürzeste Weg, mit Ausschluss von Drehung um die Blicklinie. Man sieht ohne Weiteres ein, wie mit der Regelmässigkeit der Bewegung die Schärfe der Localzeichen zunehmen musste, und diese umgekehrt der Regelmässigkeit förderlich sein konnte. So war der Weg aus der Primärstellung $a$ nach einer Secundärstellung $b$ gefunden. Die erste Grundlage für das Gesetz von Listing war gelegt: bei Bewegung aus der Primärstellung $a$ nach $b$, und vice versa, Drehung der Blicklinie um eine bestimmte Axe ohne Drehung um sich selbst. Und um diess Gesetz nun weiter mit allen seinen Consequenzen zu verwirklichen, war nichts weiter nöthig als das Gesetz von D.: wie hat man sich sein Entstehen zu denken?

Wir stellten uns vor, dass das Auge aus der primären Stellung $a$ in eine secundäre $b$ überging, um daraus immer nach $a$, als der Stelle relativer Ruhe, zurück zu kehren. Die Neigung dazu finden wir noch deutlich vorhanden. Diess mag nun unzählige Male vorgekommen sein. Zuweilen musste sich aber der Umstand ereignen, dass, während der Blick auf $\beta$ gerichtet war, der Eindruck eines anderen peripherischen Punktes $\beta'$ die Aufmerksamkeit auf sich zog. Dieser Punkt konnte erreicht werden, indem das Auge von $b$ in $a$ zurückkehrte und nun von $a$ aus sich auf $\beta'$ richtete. Anfänglich wird solches in dieser Weise geschehen sein. Wurde nun $\beta'$ aus $a$ gesehen und in seiner Lage erkannt, dann musste diess zu einem Vergleiche mit dem von $b$ aus erhaltenen Eindrucke von $\beta'$

führen. Das Streben, unmittelbar von $b$ nach $b'$ zu kommen, konnte nun nicht länger ausbleiben. Dazu standen viele Wege offen: wird nun auch, gerade wie von $a$ nach $b$, der directeste gefunden werden? Dieses würde sich ergeben durch Drehung um eine Axe, welche senkrecht steht auf einer durch die auf $\beta$ und auf $\beta'$ gerichteten Blicklinien gelegte Ebene, — eine Drehung, als wäre die Richtung $b$ die Primärstellung. Dieser Weg konnte nicht gefunden werden. Die Innervation, welche für eine bestimmte Richtung massgebend ist, musste sich geltend machen. Aus Erfahrung war die Innervation bekannt, durch welche das Auge aus $a$ nach $b'$ gebracht wird. Um aus $b$ nach $b'$ zu kommen, wird *absolut* dieselbe Innervation gefordert. Und wird diess vollkommen erfüllt, dann hat auch das Auge in allen Theilen die Stellung eingenommen, als ob es von $a$ aus auf $\beta'$ gerichtet worden wäre: damit war das Gesetz von D. verwirklicht. Und darin lag dann zugleich eingeschlossen, dass beim Uebergang von $b$ nach $b'$ das Auge um eine Axe gedreht sein würde, welche die Blicklinie einen Directionskreis durchlaufen liess: die Folgerungen des Listing'schen Gesetzes wären erfüllt.

Aber gesetzt, dass $b'$ aus $b$ tastend gefunden ward, ohne unmittelbar durch das Bewusstwerden der geforderten Innervation bestimmt zu sein, und dass nun auch die Stellung nicht genau dem Gesetze von D. entsprach, dann würde doch die geforderte Innervation sich geltend gemacht haben in dem Augenblicke, da man sich vornahm, aus $b'$ in $a$ zurückkehren, was ja in der Regel folgen musste. Es ist als träfe man mit jedesmal aufgehobenem Hammer einen Nagel, fände aber nun Veranlassung, den Arm schief nach oben zu führen, um erst von da aus die gewöhnliche Ausgangsstelle zu erreichen: was da nun an der Stellung fehlen möchte, wird durch die Vorstellung, den Schlag beizubringen, corrigirt werden, und nach vielfältiger Wiederholung des zweitheiligen Weges wird die correcte Stellung unmittelbar eingenommen werden. So auch beim Auge, wenn es von $b$ aus nach $b'$ übergeht.

Hiermit glaube ich vom Ursprunge des Listing'schen Gesetzes genügende Rechenschaft gegeben zu haben, und damit zugleich vom Ursprunge aller seiner Consequenzen, welche man zu genetischen oder teleologischen Factoren zu erheben geneigt sein möchte.

Mit der ersten Grundlage für das Gesetz von Listing, der

Bewegung aus *a* nach *b*, ohne Raddrehung, war die Vorstellung von der geraden Linie, als dem kürzesten Abstand zwischen zwei Punkten, gewonnen. Mit der Bewegung von *b* nach *b'*, in Uebereinstimmung mit dem nämlichen Gesetze, wobei die Blicklinie einen Directionskreis beschreibt, wurde die Vorstellung der geraden Linie auch auf die Directionskreise übertragen. Die Bewegung geschieht durch Drehung um eine feste Axe, so dass der Directionskreis, genau wie eine gerade Linie, über sich selbst hin verschiebbar ist, dabei unter dem Einfluss einer constanten Innervation — und zwar absolut der nämlichen wie die, wobei die Blicklinie, beim Uebergange von *a* nach *b'*, eine gerade Linie beschreibt: mehr ist dazu sicher nicht nothwendig. Wir begreifen nun zugleich, dass, wie uns das Cycloscop lehrte, die Bewegung des Blickes längs des Directionskreises die Vorstellung einer geraden Linie im Gesichtsfelde noch befördern müsse. Von einer schnurgeraden Linie gilt gerade das Gegentheil. Wenn man sie in der Peripherie des Blickfeldes fixirt, erscheint sie gerade; wenn man den Blick an ihr entlang bewegt (wir setzen voraus, dass sie nicht in einem Meridian liege), wobei von Punkt zu Punkt die Drehungsaxe wechselt und die Linie auf der Netzhaut sich also nicht in sich selbst verschieben kann, sehen wir sie gebogen. Auch aus dem Hauptblickpunkte nehmen wir eine schnurgerade Linie in der Peripherie des Gesichtsfeldes, ausserhalb der Richtung der Meridiane, bei genügender Abstraction als gebogen und einen Directionskreis als gerade Linie wahr.

Diese Vorstellungen haben sich im Verbande mit dem Gesetze von Listing entwickelt.

Im Vorstehenden habe ich das Gesetz von Listing anschaulich dargestellt und mich bestrebt, seinen Ursprung zu erklären.

Gilt das Gesetz nun in strengem Sinne? Man darf es nicht voraussetzen. Wir construiren Apparate nach einem mathematischen Princip, und Abweichungen von diesem Princip sind hier Unvollkommenheiten, die wir zu vermeiden trachten. Aber lebende Apparate, welche nicht construirt, sondern unter fortdauernder Anpassung geworden sind, spotten der mathematischen Principien und finden gerade ihre Vollkommenheit in scheinbaren Abweichungen, die um ihres Verbandes mit den genetischen Factoren willen unsere besondere Aufmerksamkeit verdienen.

Für die Bewegungen bei Convergenz, zu schweigen von den beiden Formen der Rollbewegung, kann — wie noch deutlicher wer-

den wird — von dem Gesetze von Listing selbst keine Rede sein. Aber auch die Bewegungen mit parallelen Blicklinien gehorchen ihm nicht vollkommen. Ist die Abweichung hier auch gering, sie ist dennoch sehr wichtig; denn sie trifft das Wesen des Gesetzes: das Gesetz schliesst alle Drehung um die Blicklinie aus bei Bewegung aus der oder durch die Primärstellung, und doch ist es Thatsache, dass einfache Hebung und Senkung der Blickebene mit Drehung um die Blicklinie gepaart ist. Diese Thatsache ist nichts weniger als eine Negation des Gesetzes. Könnte auch bei Anwendung der Nachbildmethode die Rollbewegung verborgen bleiben, sie offenbart sich unmittelbar durch die Methode der Halbbilder, welche schärfer und — ebenso entscheidend ist, wenn man nicht den absoluten, sondern allein den relativen Stand der correspondirenden Meridiane der beiden Augen zu bestimmen hat.

Man fixire eine entfernte horizontale Linie, z. B. die Leiste eines Fensters, gegen den Himmel gesehen, mit beiden Augen und bringe vor das eine Auge ein schwaches Prisma mit dem Winkel nach oben: die Leiste zeigt sich nun in zwei Halbbildern, das eine über dem anderen, welche so gut als parallel sind; aber sie verlieren den Parallelismus, sobald man den Kopf stark nach vorne oder hinten über biegt, und mithin die Blickebene hebt oder senkt. Bei der Hebung gehen die Halbbilder für das rechte und linke Auge an den correspondirenden Seiten aufwärts, umgekehrt bei Senkung. Die Richtungsveränderung ist die Folge von symmetrischen Rollbewegungen bei Hebung der Blickebene, in dem Sinne, dass sich die Horizonte an der Aussenseite senken: diese Rollbewegung nennen wir *positiv;* die umgekehrte, mit Senkung der Blickebene verbundene, *negativ.*

Um die Rollbewegungen genau kennen zu lernen, bedienen wir uns des Isoscop (Nr. 46; ferner: Onderzoekingen 3. Ser. D. III). Dieser Apparat dient in erster Linie dazu, die Winkel H und V der scheinbar verticalen und horizontalen Meridiane zu messen. Die Netzhautbilder einer horizontalen Linie liegen in den *wirklich* horizontalen Meridianen. Projiciren sie sich nicht in der nämlichen horizontalen Richtung, dann liegen die Netzhautbilder, die sich wirklich so projiciren, in anderen Meridianen, und diese sind die *scheinbar* horizontalen. Der Winkel, welchen sie bilden, wird mittels des Winkels von Linien, welche wir mit den betreffenden Augen für gleichgerichtet und horizontal erachten, gefunden. Dieser Winkel ist in der Regel positiv, die scheinbaren Meridiane liegen an der Schläfenseite etwas niedriger als die wirklichen.

Grösser als H ist der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane V. Um ihn zu sehen, hat man kein Prisma nöthig. Man fixire den Himmel in der Richtung eines schmalen verticalen Stabes, und dieser erscheint nun in zwei Halbbildern, welche nach oben divergiren. Die Halbbilder sind gekreuzt; denn schliesst man das rechte Auge, so verschwindet das linke Halbbild und umgekehrt (ungenügende Convergenz). Also neigt sich das Halbbild des rechten Auges links, das des linken Auges rechts hinüber, die scheinbar verticalen Meridiane dagegen nach der gleichnamigen Seite: der Winkel V ist constant positiv. Da er stets grösser ist als H, so können sie durch Rollbewegung niemals beide gleichzeitig verschwinden; also können nicht alle gleich gerichteten Meridiane der beiden Augen correspondirende Punkte haben: darin besteht die durch Helmholtz entdeckte Incongruenz der Netzhäute.

Das Isoscop nun, womit wir V und H messen, besteht aus: a. Zwei viereckigen Rahmen, welche, durch Drehung um die Mittelpunkte ihrer verticalen Leisten, Rautenform annehmen können. In den Rahmen sind zwei (oder mehr) Fäden ausgespannt, den Leisten parallel und bei allen Drehungen denselben parallel bleibend. An einer Gradeintheilung mit Nonius wird die Stellung abgelesen. Stehen die Fäden etwas weiter von einander als die Augen, so zeigen sie, bei parallelen Gesichtslinien, zwei Halbbilder dicht bei einander, und diese hat man durch Drehung der Rahmen nur für das Auge vertical und parallel zu stellen, um den Winkel V abzulesen. b. Zwei ähnliche Rahmen, drehbar um die Mittelpunkte ihrer horizontalen Leisten, dienen zur Bestimmung von H.

Mit dem Rahmenapparat ist ein Kopfhalter verbunden, an welchem ein Mundstück so gestellt, dass man, die Zähne darin festklemmend, sich in der Primärstellung befindet, während gleichzeitig die Grundlinie mit einer Axe zusammenfällt, um welche der Rahmenapparat an zwei Armen drehbar ist (Princip von Hering). Indem man nun dem Rahmen mit gehobener und gesenkter Blickebene folgt, kann man den Einfluss der veränderten Richtung auf V und H bestimmen.

Dabei hat sich nun ergeben, dass im gewöhnlich benutzten Blickfelde die Rollung kaum merkbar ist, um erst gegen die Grenzen des Blickfeldes beträchtlich zu steigen. Trotzdem müssen wir nach ihrem Ursprung fragen; denn gerade kleine Abweichungen enthüllen manchmal die wirksamen Ursachen. Mit Unrecht sucht man eine Erklärung in den Muskeln, welche bei gehobener Blickebene gleichzeitig Rollbewegung erzeugen müssten, — nicht bedenkend, dass die

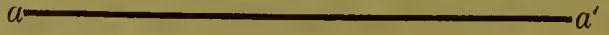
Innervation, sei sie willkührlich, reflectorisch oder automatisch, die Muskeln hat werden lassen, was sie sind, und dass man also, um die Rollbewegung zu erklären, von der Innervation Rechenschaft geben muss. Mit der Entwickelung der Gesetze von D. und Listing kann ich sie nicht in Zusammenhang bringen. Sollte der Grund auch in der Convergenz verborgen liegen?

## II. Convergenz.

Bei Convergenz schneiden sich die Blicklinien in einem Punkte, welcher nicht in unendlicher Entfernung liegt, den Augen sogar bis auf wenige Centimeter naherücken kann. Liegt der Punkt in der Medianebene, dann ist die Convergenz symmetrisch; liegt er ausserhalb derselben, asymmetrisch. Die Blickebene kann dabei jede Lage haben, ist aber meistens nach unten gerichtet, und dazu besteht eine bestimmte Neigung, die sich von selbst entwickeln muss, da nahe Gegenstände in der Regel niedriger als die Augen sich befinden, und die Bewegung des Kopfes die Tieflage nur zum Theil compensirt.

Für das Sehen in die Entfernung, mit parallelen Blicklinien, ist das binoculäre Sehen ziemlich gleichgültig. Erst beim Sehen in der Nähe mit convergirenden Blicklinien, wobei die perspectivischen Bilder auf beiden Netzhäuten verschieden sind und sich zu stereoscopischer Wahrnehmung verbinden, erhält es eine grosse Bedeutung. Von dem Gesetze von Listing kann dabei keine Rede mehr sein. Die Bewegungen werden beherrscht durch die Forderungen des Binocularsehens, und in diesem werden wir auch den Grund für die Incongruenz der Netzhäute kennen lernen.

Dass bei gleicher Richtung der Blicklinie, unter dem Einflusse der Convergenz, das Auge eine andere Stellung einnimmt, davon kann man sich durch ein einfaches Experiment überzeugen. Man halte eine horizontale Linie, reichlich 60 Mm. lang, auf höchstens




25 Cm. von den Augen und blicke sie mit parallelen Blicklinien an: die Halbbilder des rechten und linken Auges haben nun gleiche Richtung und bilden, sich an einander anschliessend, eine ungebrochene Linie von doppelter Länge. Diess erleidet keine Veränderung, wenn man, die Augen rechts und links wendend, abwechselnd das rechte Auge auf $a$ und das linke auf $a'$ richtet. Blickt man aber unter Convergenz, so dass *gleichzeitig* das rechte Auge auf $a$ und das linke auf $a'$ gerichtet ist, dann hören die Halbbilder auf, parallel zu sein und sie bilden, sich an einander schliessend, eine

gebrochene Linie mit der Spitze nach oben. Convergenz in der Horizontalebene geht also mit Rollbewegung (u. z. mit *positiver*) einher, welche bei Bewegung mit parallelen Blicklinien in derselben Ebene ausbleibt.

Auch mit Hülfe der Nachbilder kann man sich von der Rollbewegung bei Convergenz überzeugen (Volkmann und Welcker, Hering). Man fixire in der Primärstellung, während beide Augen geöffnet sind, das eine aber mit einem kleinen Schirm bedeckt ist, eine Punkt-Marke auf einem verticalen Bande, hinter welcher die graue Wand gleichfalls eine Fixationsmarke (auf einer schmalen verticalen Linie) trägt, und fahre fort, nachdem das Band entfernt ist, die Fixationsmarke anzusehen; geschieht diess bei unveränderter Richtung der Blicklinien, so zeigt das Nachbild sich vertical (mit der verticalen Linie zusammenfallend), wie das Band; geschieht diess aber bei Convergenz durch willkührliche Drehung der Blicklinie hinter dem Schirm, dann weicht, bei mir wenigstens, das Nachbild deutlich von der Verticalen ab. — Dieser Versuch erfordert einige Uebung. Weniger Mühe macht vielleicht der folgende. Zu beiden Seiten eines farbigen verticalen Bandes befindet sich eine verticale schwarze Linie. Man fixire, wieder in der Primärstellung, eine Punkt-Marke auf dem Bande und convergire, nach Entfernung des Bandes, bei horizontaler Blickebene so stark, dass die zwei schwarzen Streifen mit überkreuzten Blicklinien fixirt werden: die Streifen überkreuzen sich dann im Fixationspunkt, und das farbige Nachbild steht einfach zwischen den divergirenden schwarzen Streifen, so mit den Bildern der Verticallinien sowohl des einen als des anderen Auges einen Winkel bildend. Man sieht sofort ein, dass die Ueberkreuzung der Streifen im Fixationspunkt schon genügend ist, um die veränderte Richtung der Meridiane nach der Halbbilder-Methode zu beweisen; allein ich wünschte, beide Methoden in einem und demselben Versuche zu verbinden, da Bloemert-Schuurmann (ebenso Hamer) die Abweichungen bei der Convergenz nach der Methode der Halbbilder recht gut hat wahrnehmen können, aber nicht nach der der Nachbilder, und darum geglaubt hat, den ersteren alle Beweiskraft absprechen zu müssen [1]). Ihr Resultat beweist indessen nichts anderes, als dass die Methode der Nachbilder derjenigen der Halbbilder an Schärfe nachstehen muss.

1) Vergelijkend onderzoek der bewegingen van het oog bij emmetropie en ametropie. Utrecht 1863.

Wie bemerkt, ist die Rollbewegung bei Convergenz constant positiv, geht aber dem Grade nach bei verschiedenen Personen sehr auseinander. Helmholtz erhielt bei einer Convergenz auf 21 Cm. nur 0° 17′, Volkmann auf 30 Cm. schon 1° für jedes Auge. Hering[1]) fand für eine Convergenz von 20° auf 60° eine Rollbewegung von 3° 26′, und nach seiner Berechnung hatte Meissner für 41° Convergenz eine Rollbewegung von 2° 17′, von Recklinghausen für eine Convergenz von 21° auf 46° eine Rollbewegung von 1° 40′. Dastich allein konnte, nach Helmholtz's Mittheilung, keinen Einfluss irgend einer Art constatiren. Meine Untersuchungen haben, ohne Ausnahme, eine *positive* Drehung erkennen lassen, — bei Einigen, wie van Moll, Engelmann und Küster, eine sehr geringe, bei mir selbst jedoch nicht weniger als 5° und bei zwanzig Anderen für eine Convergenz, die leicht aufzubringen war, von 0° 6′ bis 2° 75′, im Mittel 1° 8′, ohne Unterschied zwischen Myopen und Emmetropen (vgl. Beilage I), — Alles für die Rollbewegung Eines Auges geltend.

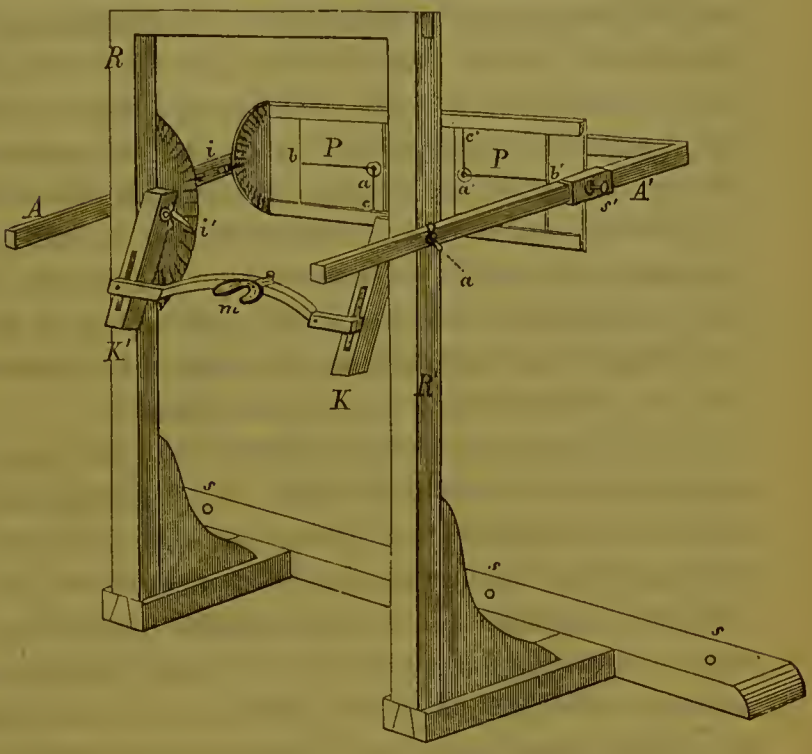
Diesen Einfluss der Convergenz hat man nun als eine Abweichung vom Listing'schen Gesetze behandelt. Diess konnte in seine Bedeutung keinen Einblick geben. Anstatt hier von Abweichungen zu sprechen, muss unser Trachten sein, die eigenen Gesetze aufzusuchen, welche die Bewegung bei Convergenz beherrschen.

Bewegen sich in der Primärstellung die parallelen Blicklinien in der Horizontalebene ohne Rollbewegnng um die Verticalaxe, dann ist die Frage diese, ob auch für die Convergenzbewegungen eine Lage der Blickebene zu finden ist, wobei die Bewegungen um eine senkrecht zur Blickebene stehende Axe geschehen.

Ich habe die Frage für meine eigenen Augen genau untersucht. Der Winkel H meiner scheinbar horizontalen Meridiane ist verhältnissmässig gross (Mittel, des Morgens 0°.7), und erst bei einer Senkung der Blickebene von 45° zu 50° werden sie parallel. Convergire ich nun bei dieser Lage, dann entsteht eine negative Rollbewegung. Gebe ich aber der Blickebene eine Neigung von ungefähr 38°, dann sind und bleiben sie, innerhalb weiter Convergenzgrenzen, so gut wie parallel. Diese Lage kann also insofern für symmetrische Convergenz als *Primärstellung* gelten, als hierbei die

1) Die Lehre vom binocularen Sehen. 1868. S. 92 u. f.

Fig. II.

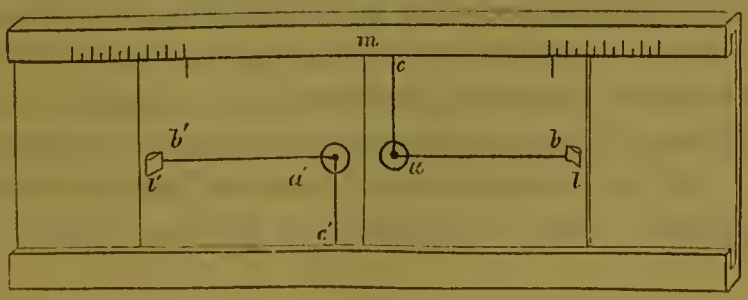



Halbbilder einer horizontalen Linie bei zu- und abnehmender Convergenz parallel übereinander schieben. Für genaue Bestimmungen kann man sich des oben beschriebenen Isoscops bedienen. Aber gleich gut erreicht man den Zweck — und sogar, wie sich ergeben wird, einen zweiten ausserdem — mit einem einfachen Instrument, welches man *Horopteroscop* nennen kann. (F. II).

Es besteht aus einer viereckigen hölzernen Platte *PP*, 38 Cm. breit, 14 Cm. hoch, längs zweier Arme *AA'* verschiebbar, an denen man die Entfernung der Platte von den Augen ablesen kann, und welche sich um die Axe *a* drehen. Der Kopf ist durch das Mundstück *m* fixirt, dessen Bügel an den zwei kurzen Armen *KK'* um die nämliche Axe *a* drehbar ist; Bügel und Mundstück werden so gestellt, dass der Kopf genau die Primärstellung *P* einnimmt, und dass die Axe *a* mit der Grundlinie der Augen zusammenfällt.

Der Rahmen *RR'*, worauf die Arme drehbar angebracht sind, ist durch Schrauben *s s s* auf einem Tische befestigt. Auf der Holzplatte befinden sich, in Einschnitten verschiebbar, zwei Pappe-Täfelchen, die auf der Mittellinie *m* (vgl. Fig. III) aneinander stossen können und beziehentlich die horizon-

Fig. III.



talen Linien $a\,b$ und $a'\,b'$ und die verticalen Linien $a\,c$ und $a'\,c'$ tragen. Die zwei Täfelchen können durch Ziehen an den Schleifen $l$ und $l'$ von einander entfernt werden, und die Scala giebt an, wieweit die Fixirpunkte $a$ und $a'$ auseinander liegen. Die hölzerne Platte ist drehbar um eine in der Schraube $s'$ gelegene und durch die Horizontallinie $a\,b$ und $a'\,b'$ gehende Axe. Bei verticalem Stande zeigt der Index $i$ der Gradeintheilung, welche links, senkrecht zur Richtung der Holzplatte, angebracht ist, auf 0°. — Der Index $i'$ auf der am Rahmen befestigten Gradtheilung zeigt die Neigung der Arme $A$ und $A'$, und damit den Winkel $s$ an, welchen die Blicklinie, bei Fixation von $a$ und $a'$, mit der primären horizontalen Lage bildet.

Die Punkte $a$ und $a'$ können mit und ohne Ueberkreuzung fixirt werden. Geschieht es ohne Ueberkreuzung, bei einem Abstande beider von einander, der demjenigen der Drehpunkte (ungefähr 64 Mm.) entspricht, dann sind die Blicklinien parallel; bei Ueberkreuzung liegt der Convergenzpunkt auf halbem Abstand von der hölzernen Platte: alle Convergenzgrade kann man erhalten, indem man entweder die Platte auf ihren Armen, oder die Pappe-Täfelchen auf der Platte verschiebt. Bei Fixation von $a$ und $a'$, sei es mit, sei es ohne Ueberkreuzung der Blicklinien, treten zwei Halbbilder zu einer Linie zusammen, und man kann nun der Blickebene eine solche Neigung geben, dass sie gemeinschaftlich eine Gerade bilden. So wird die *Primärstellung* für die symmetrische Convergenz und Divergenz-Bewegung gefunden. Ich will sie als *Primärstellung C* unterscheiden von der Primärstellung für parallele Blicklinien, welche dann Primärstellung *P* benannt werden kann. Sie sind insofern nicht gleich zu stellen als aus letzterer die parallelen Blicklinien sich in allen Meridianen ohne Raddrehung bewegen, während in ersterer die Bewegungen auf die Blickebene beschränkt bleiben.

Erhebt sich nun die Blickebene über die Primärstellung *C*, dann entsteht dabei, wie die Richtung der zusammenstossenden Halbbilder anzeigt, *positive*, senkt sie sich nach unten, *negative Rollbewegung*, — Rollbewegung also im gleichen Sinne wie bei parallelen Blicklinien, aber schneller, und zwar um so schneller, je stärker die Convergenz: für starke Convergenzgrade kann man deshalb die erforderliche Neigung schärfer einstellen als für schwache.

Für die Primärstellung *C* fand ich bei allen Untersuchten die Blickebene niedriger gerichtet als für die Primärstellung *P*: der

Winkel, welchen sie bilden, möge $s$ heissen. Bei einigen ist er gering, bei anderen bedeutend: bei mir steigt er auf 40° (s. Beilage 2).

Der Unterschied hängt zusammen mit dem Betrage der Rollbewegung, welcher mit Convergenz in der Primärstellung $P$ verbunden ist; denn diese ist natürlich um so beträchtlicher, je grösser der Winkel $s$ ist, d. h. je weiter $P$ über $C$ liegt. Bei Volkmann wird also $s$ ziemlich gross, bei Helmholtz sehr klein und bei Dastich gleich 0° gewesen sein. Ein ähnlicher Fall (Dr. Grossmann) ist auch mir vorgekommen. Bei den meisten beträgt $s$, wie gesagt, 20° bis 30°, constant in dem nämlichen Sinne.

Ich sprach von einer zweiten Aufgabe, welche sich mit dem Horopteroscop durchführen lässt. Dazu dienen die zwei verticalen Linien $a\,c$ und $a'\,c'$, die sich auf der Holzplatte befinden, die eine nach oben, die andere nach unten gerichtet. (Vgl. Fig. II u. III.) Treten beim Versuche die Horizontalen zu einer geraden Linie zusammen, dann verrathen die Halbbilder der verticalen uns die Incongruenz der Netzhäute: sie vereinigen sich dann bei verticaler Stellung der Holzplatte ($i$ auf 0°) zu einer gebrochenen Linie. Dreht man nun die Platte um ihre Axe, während die Blicklinien parallel sind und demnach auf der Axe senkrecht stehen, dann bleibt die Linie gebrochen. Convergiren jedoch die Blicklinien unter einem Winkel mit der Axe, so wird durch Drehung nach hinten die gebrochene Linie zur geraden, m. a. W., die scheinbar verticalen Meridiane schneiden einander in der geneigten Ebene. Die Drehung muss um so grösser sein, je grösser die Incongruenz, um so kleiner, je stärker die Convergenz. In der Ebene sieht man nun die horizontalen und verticalen Linien einander rechtwinkelig überkreuzen, und auch die Halbbilder anderer Linien, welche unter gleichen Winkeln, resp. nach oben und unten, von $a$ und $a'$ ausgehen, erscheinen als gerade Linien. Wir haben also eine Ebene gefunden, welche wohl Horopterebene heissen kann, wenngleich sie in streng mathematischem Sinne diesen Namen nicht verdient. Der Winkel $s$ bleibt für jede Convergenz gleich; der Drehungswinkel $a$ nimmt mit der Convergenz ab. Diess geht aus dem Versuche hervor; aber er lässt sich auch für jeden Convergenzgrad aus dem Incongruenz-Winkel berechnen nach der Formel

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} m}{\sin c}$$

worin $m$ den halben Incongruenz-Winkel ($^1/_2$ V – II) und $c$ den halben Convergenzwinkel bedeutet.

Beim Versuche fand ich für Convergenzen auf 1000, 500, 250 und 125 Mm. ungefähr $a = 37^0$, $18^0$, $12^0$ und $5^0$, was mit den Resultaten der Berechnung unter Zugrundelegung einer Incongruenz von $2^0.5$ ziemlich übereinstimmt (vgl. Beilage 3).

Diese sogenannte Horopterebene ist von grosser Bedeutung. Beim Versuche liegt der Convergenzpunkt zwischen den Augen und der Platte; man kann aber die Platte nach dem Versuche bis zum Convergenzpunkte annähern und so die verschiedenen Punkte der Ebene unmittelbar binocular fixiren. Mit Hülfe eines schwachen Prisma überzeugt man sich nun, dass bei symmetrischer Convergenz unter dem Winkel $s$ die Halbbilder von Linien, die nach verschiedenen Richtungen in dieser Ebene durch den Blickpunkt gezogen sind, einander decken, und dass bei Bewegung des Blickpunktes innerhalb gewisser Grenzen über diese Ebene keine merkliche Störung jenes Verhältnisses stattfindet. Bei seitlicher Bewegung hat, wie die Nachbilder lehren, zwar allerdings Raddrehung Statt (im nämlichen Sinne wie bei gesenkter Blickebene mit parallelen Blicklinien); aber in Betracht, dass sie für beide Augen gleich ist, tritt dabei die Ebene auch wenig aus dem Horopter.

Man kann ferner auf die Platte eine Druckseite legen, und es ergiebt sich nun, dass sie sich sehr leicht lesen lässt. Natürlicher noch wird die Haltung, wenn man mit dem Bügel, dessen Axe mit der Grundlinie zusammenfällt, den Kopf einige Grade vorne über beugt und die Blickebene ebensoviel senkt. In der That pflegen wir beim ungezwungenen Lesen und Schreiben eine solche Stellung zu wählen. Die Halbbilder der Zeile, welche wir lesen, finden dadurch ihren Horopter in den parallelen Netzhaut-Horizonten, und während die Blicklinien durch Drehung um eine unveränderliche Axe (und bei fortdauernder Innervation der nämlichen Muskeln) über die Linie fortschreiten, werden die benachbarten Worte bereits indirect so scharf wie möglich gesehen und auch der regelrechte Uebergang auf die folgende Linie gesichert. Die Meisten werden zudem bemerken, dass sie bei zunehmender Convergenz die Platte unwillkührlich mehr senkrecht zur Blickebene drehen, was schon einen Beweis für die Geneigtheit liefert, auch die verticale Ausdehnung des Blattes so gut als möglich in den Horopter zu bringen. Haben sie das Blatt in der Hand, dann richten sie dabei gleichzeitig den Kopf auf, ohne die relative Neigung der Blickebene zu verändern; und

liegt das Buch auf einer geneigten Ebene, dann beugen sie den Kopf, erzielen aber auch in diesem Falle, dass die Blickebene sich mehr der zur Druckseite verticalen Stellung nähert. Das Festhalten des Horopters wird noch dadurch befördert, dass die Bewegungen der Augen ziemlich beschränkt, die des Kopfes verhältnissmässig ausgedehnt sind. Um sich hiervon zu überzeugen, halte man ein Stäbchen, z. B. einen Bleistift, so zwischen den Zähnen, dass man über die Spitze mit einem der Augen auf der Mitte der Druckseite einen Buchstaben fixirt: sieht man hierauf nach dem Anfange oder nach dem Ende der Zeile, oder auch nach oben oder nach unten auf die Druckseite, dann bleibt die Spitze des Bleistiftes hinter der Blicklinie zurück, aber nicht viel: dieses Wenige vergegenwärtigt die Bewegung der Augen [1]). Dass bei ausgedehnten Bewegungen der Blicklinie das Lesen unter abweichender Haltung, vor Allem bei schiefer nicht durch die Stellung des Kopfes compensirter Richtung der Linien, auf Schwierigkeiten stösst, theils in Folge der nicht correspondirenden Halbbilder, theils in Folge der geforderten, fortgesetzten Drehung der Augen um augenblickliche Axen, wird man leicht bestätigt finden.

Wir haben jetzt zu untersuchen, unter welchen Bewegungen sich der Bewegungs-Typus der Convergenz entwickelte.

In erster Linie fragen wir nach dem Ursprunge der Convergenz selbst und der damit verknüpften Primärstellung *C*.

Das Sehen bei Convergenz setzt binoculares Sehen voraus. Für das Binocularsehen ist die erste Bedingung diese: dass gewisse exquisite Punkte, Merkstellen Hering's, der beiden Netzhäute (in unseren Augen die *foveae centrales*) Bilder derselben Gegenstände empfangen. Dazu wird ein bestimmtes Verhältniss in der Stellung der beiden Augen gefordert. Bei dem neugeborenen Kinde ist dieses Verhältniss unter der gleichmässigen Innervation der Muskeln schon *ungefähr* gegeben und bleibt sich bei den parallelen Augenbewegungen, welche kurz nach der Geburt unter dem Einfluss gemeinschaftlicher Innervationen vorkommen, gleich. Nun wissen wir, wie kräftig sich später der Drang, die Bewegungen jener ersten Bedingung des bino-

1) Mit Dr. Ritzmann habe ich einen Apparat construirt, der es ermöglicht, das Verhältniss der Bewegungen des Kopfes und der Augen bei Richtungsveränderung der Blicklinie zu bestimmen. Vergl. Archiv für Ophthalmologie. Bd. XXI. H. 1. S. 131. Onderzoekingen. D. IV.

cularen Sehens anzupassen, offenbart (u. A. bei Versuchen mit Prismen) und schliessen daraus, dass eine bestimmte Neigung dazu auch wohl schon angeboren war: diese musste dazu führen, bei normalen Muskeln die geforderte Richtung der Blicklinien noch *näher* und *genauer* zu bestimmen.

Bestreben wir uns tiefer in die Frage einzudringen, dann stossen wir auf die unvollkommene Kenntniss betreffs des Binocularsehens in den verschiedenen Thierklassen. Wir wissen, dass mit dem Besitze von zwei Augen das binoculare Sehen noch nicht gegeben ist, dass, wo es besteht, die Merkstellen ziemlich excentrisch liegen können, und dass bei einigen Vögeln zwei Paare solcher Stellen vorkommen, mehr centrale für das Einzelsehen mit jedem Auge, mehr excentrische für das binoculare Sehen (Heinrich Müller). Aber von den Uebergangsformen zwischen dem doppelten monocularen und dem binocularen Sehen ist uns so gut wie Nichts bekannt[1]). Beim Menschen begegnen wir der merkwürdigen Thatsache, dass, wenn durch Auswärtsschielen das binoculare Sehen aufgehoben wird, die Netzhaut jedes Auges eine absolute Selbständigkeit erhalten kann, so dass jedes Auge auch sein eigenes Gesichtsfeld hat und bei allen Stellungen darin vollkommen orientirt ist. Diese Thatsache führt auf die Annahme, dass, umgekehrt, das binoculare Sehen eine secundäre Form ist, die sich aus dem doppelten monocularen entwickelt hat. Auch der Wettstreit der Augen, der sich bei dem binocularen Sehen noch so deutlich geltend macht, scheint dafür zu sprechen. Es würde dann beginnen können mit der Entstehung eines zweiten Paares exquisiter Punkte, die sich allmählich denjenigen des doppelten monocularen Sehens nähern könnten, um zum Schlusse mit ihnen zu verschmelzen. Doch genug, ich will mich nicht in Betrachtungen vertiefen, so lange unsere vergleichend anatomische und physiologische Kenntniss in diesem Punkte so ausserordentlich mangelhaft ist. Wie es auch sein möge — die exquisiten Punkte des binocularen Sehens mussten sich, bei einer gegebenen Stellung der Gesichtsorgane, in Verbindung mit der Lage von gleichen Netzhautbildern, entwickeln, und die Neigung, auf diesen Punkten stets correspondirende Bilder zu empfangen, musste die Augenbewegungen den Anforderungen des binocu-

1) Joh. Müller (vergleichende Physiol. des Gesichtssinnes. Leipzig 1826) gab S. 142 eine interessante vergleichende Tabelle über die Unterschiede der Divergenz der Augen (Augenhöhlen) bei den Wirbelthieren.

lären Sehens gemäss beherrschen. Rücksichtlich entfernter Gegenstände konnten die Blicklinien parallel sein, und so entwickelte sich der Verband der parallelen Augenbewegungen. Von entfernten Gegenständen aber auf nahe gelegene übergehend, mussten die Blicklinien convergiren, und die Entwickelung des zweiten Typus, der symmetrischen Bewegungen der Adduction und Abduction, war die Folge davon. Insbesondere musste bei langsamem Annähern und Entfernen eines Gegenstandes das Streben nach Convergenz und Divergenz sehr regelrecht geweckt werden. Und hier, wie überall, wirkte das Streben schaffend auf die Innervation und auf das contractile Gewebe.

Nahe gelegene Gegenstände und insbesondere unsere Körpertheile, die Arme und Hände, welche, mit den betasteten Gegenständen, für die Richtung der Blickebene wohl die Hauptrolle spielen, liegen niedriger als unsere Augen. Theilt sich nun hier wie überhaupt die geforderte Bewegung zwischen dem Kopfe und den Blicklinien, dann musste die Blickebene sich senken und der Convergenz-Typus sich bei abwärts gerichteter Blickebene entwickeln.

Um welche Axe werden nun die Augen sich drehen, während mit der Annäherung und Entfernung der Hände und der Gegenstände der Convergenzgrad grösser oder geringer wird? Stellen wir uns vor, dass durch die Bewegung bei parallelen Blicklinien die correspondirenden Punkte der Netzhauthorizonte schon entwickelt waren, dann konnten diese die symmetrischen Bewegungen bei ihrem Entstehen beherrschen, und das Streben, gleiche Halbbilder mit den Horizonten in Verbindung zu setzen und bei der Bewegung horizontale Linien in sich selbst verschieben zu lassen, musste Drehung um eine Axe, welche auf dem horizontalen Meridian, d. h. auf der Blickebene senkrecht steht, zur Folge haben. Aber es ist nicht unwahrscheinlich, dass das binoculare Sehen sich auch von vorneherein bei Convergenz entwickelte, und dann haben wir uns wieder ein Suchen nach dem einfachsten Wege zu denken und wie oben (S. 386) nach dem Mittel aller Umwege zu fragen, welches dann doch auch kein Anderes sein kann, als Drehung um die nämliche Axe: was dafür spricht, ist der Umstand, dass für die meisten Augen die Horizonten erst bei einer gewissen Senkung der Blickebene vollkommen correspondiren. Ueberdem bedenke man, dass Convergenz und Divergenz ausschliesslich in der Blickebene geschehen, und dass die Netzhauthorizonten nahezu in dieser Ebene liegen, nicht blos

bei der Primärstellung *C*, sondern bei jeder Neigung der Blickebene — jene allein ausgenommen, wobei Convergenz und Divergenz äusserst selten vorkommen. Die symmetrischen Bewegungen bestimmen so vor Allem die Localzeichen der correspondirenden Horizonte und machen gleichzeitig die horizontale Linie, wie noch deutlicher einleuchten wird, zur eigentlichen Basis des stereoscopischen Sehens.

Durch Vorstehendes erachte ich den Ursprung der Convergenz selbst und der damit in Verband stehenden Primärstellung *C* mit ihren symmetrischen Bewegungen, um Axen, welche lothrecht zur Blickebene stehen, befriedigend erklärt. Grosse individuelle Unterschiede können uns dabei nicht in Verwunderung setzen; denn zweifelsohne waren auch die Bedingungen, unter welchen die Primärstellung *C* sich entwickelte, im Vorgeschlechte sowohl als im Individuum, äusserst verschieden.

Wir begannen mit dem Nachweise, dass in der Primärstellung *P* die symmetrischen Bewegungen mit Rollbewegung gepaart sind, und umgekehrt finden wir in der Primärstellung *C* Raddrehung bei seitlicher Bewegung mit parallelen Blicklinien. Offenbar liegt sonach den symmetrischen Bewegungen eine eigne Innervation zu Grunde. Wir können denn auch im normalen Zustande die Blicklinien bei Weitem nicht so stark convergirend nach der Medianebene richten, als jedes Auge einzeln bei parallelen Blicklinien, und das Vermögen zu convergiren, das sogenannte Fusionsvermögen, ist zuweilen in hohem Masse gestört, ohne dass die Drehung nach der Medianebene, abwechselnd vom einen und vom andern Auge, im Mindesten gelitten hat. Endlich ergibt sich die specifische Innervation bei Convergenz daraus, dass sie mit Accommodation für die Nähe associirt ist.

Wir stellen uns nun vor, dass diese Innervation sich mit jeder Stellung der Blicklinien, unabhängig von der Innervation, welche diese hervorgebracht, combiniren kann, und jedesmal mit dem Bestreben, in der Nähe zu sehen, zur Wirkung kommt. Und nun lässt sich beweisen, dass die davon abhängige Muskelwirkung bei gehobener Blickebene eine positive, bei gesenkter Blickebene eine negative Rollbewegung auslöst, um so stärker, je mehr die Blickebene von der Primärstellung *C* abweicht und je höher der Convergenzgrad ist [1]). Von der Rollbewegung scheint damit ausreichende Rechen-

1) Bei einer späteren Gelegenheit, wo ich die Muskelwirkung besprechen

schaft gegeben. Nicht die Muskelwirkung als solche, — man unterscheide diess wohl, — sondern die Innervation, wovon sie abhängt, wird hier zur Erklärung der Rollbewegung angerufen.

Leichte Rollbewegungen im gleichen Sinne haben wir nun bei parallelen Blicklinien angetroffen und ihren Ursprung daselbst unerörtert gelassen: sollte der Grund, fragte ich schliesslich, auch in der Convergenz verborgen liegen? Und in Wahrheit: besteht beim Sehen nach oben und unten eine gewisse Neigung resp. zu Divergenz und Convergenz, dann müssen, um die Blicklinien parallel zu halten, umgekehrt die Innervationen zu Convergenz und Divergenz dabei in Thätigkeit treten. Mich dünkt, dass die Entstehung der Rollbewegung bei parallelen Blicklinien damit hinreichend aufgeklärt ist.

Indessen könnte man die Frage aufwerfen, warum bei Convergenz das Streben ausgeblieben ist, bei jeder Lage der Blickebene Drehung um eine zu dieser Ebene senkrechte Axe zu erhalten, um so bei jeder Neigung die scheinbar horizontalen Meridiane parallel zu halten. Ausnahmsweise kommt diess bis zu einem gewissen Grade wirklich vor (Helmholtz, Dr. Grossmann). Uebrigens,

---

werde, hoffe ich das hier Behauptete in ein klares Licht zu stellen. Das Folgende diene dazu, hier eine gewisse Vorstellung davon zu geben. In der Primärstellung *P* dreht der M. rect. int. das Auge um eine senkrecht zur Blickebene stehende Axe. In der Primärstellung *C* kann der Muskel allein das Auge nicht mehr um eine solche Axe drehen, denn er hat aufgehört in der Blickebene zu liegen, sondern wirkt nun gleichzeitig unter einem gewissen Winkel auf die Blicklinie und würde also beim Adduciren auch eine negative Drehung um die Blicklinie hervorbringen. Diese Drehung findet indessen bei der Convergenz nicht statt. Sie wird also compensirt, und die Compensation ist nur möglich durch gleichzeitige Contraction des unteren geraden und des unteren schiefen Muskels. Beide liegen mit ihren Antagonisten in einer verticalen Ebene, und jeder von ihnen hat eine Componente auf die Transversalaxe und eine auf die Gesichtslinie (Onderz. Lab. III. 2. S. 385). Die auf die Transversalaxe wirken in entgegengesetztem Sinne (haben verschiedene Halbaxen) und können einander so neutralisiren. Die auf die Gesichtslinie wirken in gleichem Sinne, als positive Drehung, und neutralisiren gemeinschaftlich die negative Drehung, welche von dem M. rectus int. ausgeht. Je stärker nun die Convergenz, und je bedeutender die Senkung der Blickebene ist, desto mehr Compensation wird dabei gefordert. Nun ist einleuchtend, dass, wenn mit der Erhebung der Blickebene die compensirende Bewegung in gleichem Masse fortdauert, sie ein Uebergewicht erhalten, dass sie bei weiter gesenkter Blickebene dagegen unzureichend werden wird. Die constatirten Rollbewegungen können die Folge davon sein.

glaube ich, lässt sich Folgendes darauf antworten. Die symmetrischen Bewegungen werden, wie wir sahen, fast nur bei gesenkter Blickebene beansprucht. Zwischen der Senkung und den Bewegungen muss sich also eine Association entwickeln. Kam nun Convergenz vor bei einer anderen Lage der Blickebene, dann lag in der Convergenz eine Hülfsanweisung für diese Lage, also auch für die Lage des fixirten Gegenstandes, und zugleich eine gewisse Mahnung, dem Kopfe oder dem Gegenstande, was beim Sehen in der Nähe meist so leicht geschehen kann, eine andere Stellung zu geben, ohne dass inzwischen aus der *vorübergehenden* Incongruenz irgend eine Störung des Sehens entsprang. Das Bestreben, in jeder Lage der Blickebene bei den symmetrischen Bewegungen Rollung zu vermeiden, konnte sich also nicht sehr fühlbar machen. Uebrigens ist es, wie später einleuchten soll, eine Thatsache, dass wenn man horizontale Linien ausserhalb der Primärstellung *C einige Zeit lang* mit Convergenz fixirt, die Neigung durch symmetrische Rollbewegungen die Halbbilder zu vereinigen nicht ausbleibt.

Wir haben oben gesehen, dass, während wir mit gesenkter Blickebene convergiren, die Ebene, worauf wir mit Vorliebe sehen, noch stärker nach hinten überneigt. Diese stärkere Neigung erkannten wir als mit dem Winkel $V—H$ in Verbindung stehend und sie wurde bei jeder Convergenz davon abhängig gemacht. Aber wäre es nicht doch möglich, dass ursprünglich die gewählte Neigung die Ursache und $V—H$ die Folge sei? Wirklich glaube ich, in jener Neigung den genetischen Grund der so räthselhaften Incongruenz gefunden zu haben. Eine solche Neigung wurde nicht desshalb gewählt, weil das binoculare Sehen sie erforderte; sondern sie war nöthig, um das Abrücken und Fallen der Gegenstände, mit denen man sich beschäftigte, zu verhüten: und so lange unser Geschlecht Arbeit auf einer Ebene verrichtete, welche sich der Horizontalen näherte, ohne dass bei einer bequemen Beugung des Kopfes die gesenkte Blickebene senkrecht auf jene Ebene zu stehen kam, war mit der Tendenz, für die Halbbilder correspondirende Punkte zu beanspruchen, sie gewissermaassen in Bezug auf jener Ebene auszubilden, die Bedingung für die Entstehung der Incongruenz zwischen den horizontalen und verticalen Meridianen gegeben. Und dass solche Tendenz wirksam war, ergibt sich schon daraus, dass die einmal etablirte Incongruenz auch da, wo wir ohne Handarbeit in der Nähe zu sehen wünschen z. B. beim Lesen, die Beziehung zwischen der Richtung der Blicklinien

und der Ebene, worauf wir sehen, beherrscht. — Für das Aufruhen der Arme war die betreffende Ebene, um die es sich handelt, nicht weniger erwünscht. Arbeitet der Maler auf einer beinahe verticalen Fläche, dann sucht er einen Stützpunkt für seinen Arm auf einem schräg gehaltenen Stock.

Helmholtz meinte bekanntlich eine genetische Erklärung für den Winkel $V$ in dem Bestreben zu finden, den Boden, auf dem wir gehen, zum Horopter auszubilden. Indessen machte Hering[1]) die Bemerkung, deren Richtigkeit durch die Untersuchungen van Moll's[2]) vollends bestätigt wurde, dass der Werth des Winkels $V$ nur in seltenen Ausnahmefällen dieser Erklärung entspreche. Zudem bezweifle ich, dass von Seite des Bodens, auf dem wir gehen, ein starker Zwang auf die correspondirenden Meridiane ausgeübt werden könnte. Dicht vor unseren Füssen ist bei nahezu horizontaler Blickebene die Lage zu excentrisch, um das unvollkommene Zusammenfallen der Halbbilder merkbar werden zu lassen und auf einige Entfernung mahnt uns jeder aussergewöhnliche Eindruck früh genug, um noch bei Zeiten den Blick darauf zu richten.

In der Nähe dagegen, innerhalb des Bereiches unserer Hände, müssen wir, während wir ein Object fixiren, ein zweites indirect gesehenes Object ergreifen können, und je dichter es sich an der Horopterebene befindet, desto genauer ist, dem Fechner'schen Gesetze gemäss, die dazu erforderliche Abstandsbestimmung. Bei einer Neigung wie jene, in der ungefähr die Objecte liegen, womit wir uns in der Nähe beschäftigen, hat der Horopter die höchste Bedeutung. Beim Sehen in die Ferne genügt es, dass die scheinbar horizontalen Meridiane, worin sich die Blicklinien nun hauptsächlich bewegen, nahezu zusammenfallen, und diess ist in Wirklichkeit erreicht: besteht noch einige Abweichung, so corrigirt sie das Sehen nach dem Horizont oder nach horizontalen Linien, wie sich zeigen wird, mittelst symmetrischer Rollbewegung. Der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane veranlasst hier keine Störung. Denn vom stereoscopischen Sehen, insbesondere vom Erkennen der Neigung einer aufrechten Linie in der Medianebene, kann beim Blick in die Ferne keine Rede sein, und der constante Winkel $V$, unter welchem sich ihre Halbbilder in dem Convergenzpunkte überkreuzen, bleibt unbemerkt und löst sich in die Vor-

1) Beiträge. S. 348.

2) Onderz. Labor. Utrechtsche Hoogeschool. 3de reeks. III. 1. 1874.

stellung einer mittleren Richtung auf. Freilich wird das oberhalb und unterhalb des Convergenzpunktes Gelegene indirect etwas weniger deutlich gesehen werden, aber für das genauere Erkennen der hier gelegenen Punkte besteht kein wesentliches Bedürfniss.

Mit dieser Behauptung stelle ich mich, unbeschadet meiner Hochachtung für seine Studien über den mathematischen Horopter, der Ansicht von Hering diametral gegenüber. Dieser geistreiche Gelehrte erachtet den Horopter »nur dann von besonderem Nutzen, wenn sich die Augen mit fernen Dingen beschäftigen«, von geringem Werthe dagegen beim Sehen in der Nähe, »weil die Aussendinge meist körperlich sind und also immerhin nur theilweise im Horopter liegen könnten«. (Beiträge S. 262.) Aber gerade behufs des sterescopischen Sehens — und diess übersieht Hering — ist die Gruppirung der Gegenstände, mit denen wir uns beschäftigen, in der Nähe einer idealen Horopterebene so äusserst wichtig. Streben wir darnach bei jeder Handarbeit, dann sind die Bedingungen, unter denen die Arbeit geschah, gleichzeitig diejenigen, wobei sich die Correspondenz der Netzhäute entwickelte. In wie weit nun individuelle Uebung im Stande ist, das Verhältniss zu modificiren, wage ich nicht zu entscheiden. Wir wissen, dass jedes Auge die Arme eines Kreuzes, welches rechtwinkelig scheinen soll, so einstellt, wie die Incongruenz der betreffenden Netzhaut es erheischt, und dass der Winkel, welchen die für jedes einzelne Auge vertical erscheinenden Linien des Kreuzes bilden, dem Winkel $V$ meistens ziemlich nahe kommt: nun ist es sicher eine wichtige Frage, welche noch auf ihre Beantwortung harrt, ob, wenn das eine Auge kurz nach der Geburt oder auch später verloren gegangen ist, das übrig gebliebene die Arme des Kreuzes genau rechtwinkelig einstellen wird.

Die grossen individuellen Schwankungen in der Grösse des Winkels $V$ können aus den mannichfaltigen Umständen erklärt werden, unter denen sich der genannte Winkel, sei's im Individuum, sei's im Vorgeschlecht, entwickelte.

Aus Beilage II wird klar geworden sein, dass für meine Augen die für die Primärstellung $C$ geforderte Neigung der Blickebene nicht constant ist, aber mit zunehmender Convergenz kleiner wird. Ich vermeinte Anfangs hierin einen Grund der Rollbewegung gefunden zu haben, welche in positivem Sinne mit Erhebung, in negativem mit Senkung der Blickebene verknüpft ist. Ein höher gelegener Punkt

liegt auf der Horopterebene weiter von den Augen entfernt und wird also bei geringerer Convergenz gesehen, welche auch geringere positive Rollbewegung mitbringt, und diese würde durch eine positive Rollbewegung compensirt werden können, welche mit Erhebung der Blickebene verbunden ist. Die Compensation tritt nun ein, und zwar kraft des Strebens, das sich unter allen Umständen offenbart, die Halbbilder horizontaler Linien zusammenfallen zu lassen. Sollte denn, frug ich, die mit Erhebung der Blickebene verbundene positive Rollbewegung nicht hierin ihren Grund haben? Und wenn dem so ist, schloss ich weiter, sind wir dann nicht berechtigt, die bei parallelen Blicklinien mit Erhebung und Senkung der Blickebene verbundene Rollbewegung der nämlichen Ursache zuzuschreiben?

Die Erklärung schien nicht zu gewagt. Aber sie musste verworfen werden, wenigstens als Hauptmoment, indem sich ergab, dass bei Anderen für verschiedene Convergenzgrade nahezu dieselbe Primärstellung *C* gefunden wird. Die associirte Innervation gab mir nun oben eine Erklärung an die Hand, welche eine mehr allgemeine Geltung hat.

Ich muss nun auch trachten von derjenigen Ausnahme, welche meine Augen darboten, Rechenschaft zu geben. Sie scheint mir mit dem besonders grossen Winkel *H* zusammenzuhängen, welcher, abgesehen von allem Einfluss der im Gesichtsfelde anwesenden Linien, im Mittel 0°.8 beträgt und auf 1° und darüber steigen kann. Die Blickebene muss ungefähr 50° nach unten gebracht werden, um diesen Winkel verschwinden zu lassen. Bei Convergenz suchen wir überhaupt eine solche Neigung auf, wobei er verschwindet, und die Blickebene wird also, um diess zu erreichen, bei mir jedenfalls mehr gesenkt werden müssen, als ohne den grossen Winkel *H* für die Primärstellung *C* gefordert sein würde. Aber in Erwägung, dass die negative Rollbewegung für gleiche Senkung unter die Primärstellung *C* um so stärker ist, je stärker die Convergenz, so wird, mit zunehmender Convergenz, die zur Compensation des Winkels *H* erforderliche Senkung kleiner und kleiner werden. Diess führt mich zu dem Schlusse, dass, abgesehen von dem Einfluss des grossen Winkels *H*, die Primärstellung *C* eigentlich noch etwas höher liegen würde, als sie bei meiner stärksten Convergenz gefunden wird.

## III. Parallele Rollbewegung.

Im Jahre 1858 trat Alexander Hueck mit der Lehre hervor, dass bei Neigung des Kopfes nach der Schulter, die beiden Augen

sich in entgegengesetztem Sinne um die Gesichtslinie drehen: er ging so weit zu behaupten, dass bei einer Seitwärtsneigung von 25° bis 27° die verticalen Meridiane zu Folge dieser Rollbewegung ihren verticalen Stand noch unverändert inne hätten. Die Theorie fand von vielen Seiten Beifall. Einige glaubten, wie Hueck, an den Gefässen der Conjunctiva und an der Iris eine derartige compensirende Rollbewegung zu constatiren. Aber gegen die Methode der Nachbilder konnte die Theorie nicht Stand halten. Ich überzeugte mich, dass ein in der Primärstellung dem verticalen Meridian angehöriges linienförmiges Nachbild bei der geringsten Seitwärtsneigung des Kopfes sofort der Neigung folgt, und dass somit der Meridian nicht einmal den Bruchtheil eines Grades vertical bleibt. Der Versuch wurde allgemein bestätigt, und die Theorie von Hueck nicht weiter beachtet.

Erst 25 Jahre später sollte sich ergeben, dass Hueck zum Theil recht hatte. Astigmatismus wird bekanntlich mittels cylindrischer Gläser neutralisirt, bei einer bestimmten Stellung der Cylinderaxe. Der Pariser Ophthalmolog Javal, selbst astigmatisch, neigte, mit der neutralisirenden Brille bewaffnet, seinen Kopf nach der Seite und fand, dass die Correction nun unvollkommen wurde: das Auge, schloss er, musste hinter dem Cylinder um seine Axe gedreht sein. So war es in der That. Die Drehung beträgt aber nur einen kleinen Theil der Seitwärtsneigung des Kopfes, für geringe Grade ungefähr $^1/_5$, für starke kaum $^1/_{10}$, — ziemlich verschieden für verschiedene Personen, — und sie konnte so bei dem Versuche mit dem Nachbilde leicht verborgen bleiben: gewiss wird Jeder, der diesen Versuch anstellt, sich der Ueberzeugung hingeben, dass die Neigung des Nachbildes derjenigen des Kopfes gleich ist. Auf verschiedene Weise lässt sich nun aber darthun, dass das Nachbild hinter letzterer zurückbleibt [1]). Der kleine oben beschriebene Apparat (S. 377), der zur Controle des Gesetzes von Listing und D. diente, lässt sich schon dafür gebrauchen. Wenn man erst die Basis des farbigen Streifens und einige Secunden nachher die Spitze fixirt, so sieht man das Nachbild in der Verlängerung des Streifens. Neigt man aber, nach Fixation, den Kopf zur Seite, dann sieht man wie das Nachbild an dem oberen Ende mit dem Streifen einen Winkel bildet: der Streifen liegt also nicht mehr in dem Meridian, worin er lag, als er das Bild hervorbrachte, von

1) Siehe die Versuche von Helmholtz, Skrebitzky, Nagel, Woinow und die von Mulder, l. c.

welchem nun sich das Nachbild zeigt. — Auch um die Rollbewegung an der Iris und den Gefässen der Bindehaut zu sehen, habe ich ein Mittel an die Hand gegeben. Ich hatte geglaubt, die von Hueck wahrgenommene Rollbewegung der begleitenden Bewegung der Blicklinie zuschreiben zu müssen. Um diese auszuschliessen, liess ich das Auge sich selbst in einem Spiegelchen betrachten, welches man mittelst eines Mundstücks zwischen die Zähne klemmt, und indem die Richtung der Blicklinie in Bezug zum Kopfe nun unverändert blieb, konnte ich keine Rollbewegung des Auges entdecken. Die Methode ist, im Principe, tadellos und hat später in Bezug auf andere Fragen grosse Dienste geleistet; aber in Bezug auf Genauigkeit unzulänglich: mit parallelen Blicklinien sehend, konnte ich für den kleinen Abstand des Spiegelbildes nicht accommodiren, und mit einem convexen Brillenglas vor dem Auge war die Erscheinung noch weniger zu sehen. Anstatt eines gewöhnlichen Spiegelchens nahm ich nun eine auf der Rückseite foliirte biconvexe Linse (No. 38) und fand so ohne Mühe, dass das Auge, während es im Allgemeinen der Neigung des Kopfes folgt, doch auch eine kleine Rollbewegung in entgegengesetzem Sinne erfährt.

Die Rollbewegungen sind für beide Augen constant gleich gross und so wirklich parallel. Ich überzeugte mich hiervon dadurch, dass ich auf ein Mundstück zwei aufrechte Stäbchen setzte (No. 39), auf eine Entfernung von 70 Mm. untereinander und resp. parallel den zwei scheinbar verticalen Meridianen; sie zeigen sich, bei parallelen Blicklinien, als parallele Halbbilder nahe bei einander, und — diese bleiben parallel bei allen Bewegungen von Kopf und Rumpf.

Um die Rollbewegung als Funktion der Seitwärtsneigung zu messen, ist die genaueste Methode diejenige, welcher Dr. Mulder in meinem Laboratorium folgte. Das für die Versuche construirte Instrument (No. 41) besteht aus einem Kopfhalter, welcher sich um eine horizontale, zur Grundlinie senkrechte Axe dreht (Seitwärtsneigung also gegen die Schulter), und bei jeder Einstellung durch den Beobachter schnell und leicht zu fixiren ist. Wenn der Kopf darin festgehalten ist, und zwar genau in der Primärstellung, betrachtet das Auge ungefähr 20 Secunden lang eine von entfernten Gasflämmchen gebildete Lichtlinie, die sich im Querdurchmesser einer grossen Scheibe befindet, löscht die Flämmchen durch eine kleine Handbewegung bis auf ein Minimum aus, dreht nun den Kopf im Kopfhalter und stellt diesen durch eine zweite Handbewegung wieder fest, gerade während das

Nachbild mit einem in einem Diameter der Scheibe von bekannter Richtung ausgespannten Faden zusammenfällt: der Unterschied zwischen der Neigung dieses Durchmessers und der des Kopfes, die sich beide genau bestimmen lassen, ist die Rollbewegung. Sie kommt sowohl bei Convergenz als bei parallelen Blicklinien vor.

Es bleibt noch hinzuzufügen, dass, wie schon von Breuer nachgewiesen, die Rollbewegung bei schneller Seitwärtsneigung gleich etwas weiter geht, um aber in weniger als einer Secunde wieder zurück zu weichen.

Wenn wir nach einer Erklärung für die parallele Rollbewegung suchen, dann ist die erste Frage diese: giebt es andere Bewegungen, die unter analogen Bedingungen entstehen?

Nagel hat gefunden, dass bei Rückenlage eine Drehung um die verticale Axe des Körpers Rollbewegung hervorbringt; aber, genau analysirt, ergiebt sich diese als ein direkter Ausfluss der eben besprochenen.

Wirklich analog, aber doch von dieser verschieden, ist in erster Linie die Rollbewegung, welche entsteht, wenn der Kopf, bei horizontal nach unten gerichteter Gesichtsfläche, in einer horizontalen Ebene hin und her bewegt wird. Diese Rollbewegung ist von Breuer[1]) untersucht. Er richtete den Versuch der Art ein, dass der Kopf bei nach unten gerichteter Antlitzfläche, um eine Axe sich dreht, welche senkrecht zur Grundlinie, von der Nasenwurzel nach dem Hinterhaupt geht. Auch nach andern Methoden ist sie von Mulder und mir untersucht und bestätigt worden. Diese Rollung ist aber nur eine vorübergehende: der Natur der Sache nach kann sie nicht bleibend sein.

Ferner die seitliche Bewegung der Augen bei Drehung des Kopfes um die Verticalaxe: fordert man Jemand auf, den Kopf hin und her zu bewegen (die Geberde der Verneinung), so wird man meistens finden, dass das Auge den Bewegungen nicht oder nur unvollkommen folgt; ebenso, wenn man, hinter Jemand stehend, mit den auf die Schläfen gelegten Händen den Kopf desselben die genannten Bewegungen ausführen lässt. Bei geschlossenen Augen zeigt das Nachbild einer Flamme dabei auch minder excursive Bewegungen als der Kopf.

---

1) Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. Medicinische Jahrbücher I. 1874.

Deutlich zeigen die ruckweisen Bewegungen eines Nachbildes bei fortgesetzter Drehung um die Längsaxe des Körpers, dass die Blicklinien auch dabei stets zurückbleiben.

Bei Drehung des Kopfes um eine quere horizontale Axe haben die Augen gleichfalls die Neigung, denselben Gegenstand dauernd zu fixiren, wie das Visiren über ein zwischen die Zähne geklemmtes Stäbchen unmittelbar nachweist.

Ferner überzeugen wir uns, bei stark gebeugtem Kopfe, horizontalem Antlitz und auf den Boden gerichtetem Blick, in derselben Weise, dass die Augen der Beugung nicht vollkommen gefolgt sind, und bewegen wir uns nun in dieser Stellung vor- oder rückwärts, so besteht gleich deutlich ein gewisser Drang, den Blick mit der vorübergleitenden Bodenfläche gehen zu lassen.

Beim gewöhnlichen Gange geht der Kopf bei jedem Schritte auf und nieder, ohne irgend einen Einfluss auf den Fixirpunkt, und auch beim Niedersitzen und Aufstehen vom Stuhle wird die Kopfbewegung manchmal compensirt.

Wenn man endlich, in einem Wagen passiv vor- oder rückwärts bewegt, den Blick zur Seite gerichtet hält, so hat man Mühe, durch Abstraction von allen Gegenständen die Augen regungslos in den Orbitae festzuhalten: stets bleiben sie wie an den Gegenständen haften, um dann wieder einen kleinen Sprung zu thun.

Bei geschlossenen Augen dauern, wie die Nachbilder lehren, alle die Erscheinungen mehr oder weniger fort, und wahrscheinlich wird man sie auch bei den Blinden antreffen.

Diese Thatsachen verrathen nun, dass eine Neigung besteht, die Bewegungen des Kopfes und Körpers durch Augenbewegungen zu compensiren, eine Neigung, also, Gegenstände, welche wirklich in Ruhe sind, so lange es uns nicht darum zu thun ist, andere Gegenstände zu sehen, an dieselben Netzhautpunkte gebunden zu halten. Bei den gewöhnlichen Bewegungen des Kopfes tritt diese Neigung schon stark hervor. Lebhafte Personen, mit denen wir im Gespräch sind, machen fortdauernd allerlei Gesticulationen mit dem Kopfe und halten dabei meist den Blick unveränderlich auf uns gerichtet. Vielerlei mechanische Arbeit fordert Bewegungen des Kopfes, während der Blick fortdauernd auf denselben Punkt gerichtet bleiben muss, und auch hier sind die compensirenden Augenbewegungen unmittelbar und gleichzeitig gegeben. Es ist das Gegentheil von dem, was sich ereignet, wenn ein indirect gesehener Punkt unsere Auf-

merksamkeit und damit den Blick auf sich zieht: die Augen schnellen dahin, und der Kopf, ja der ganze Körper, wirken im gleichen Sinne und machen einen Theil des Weges: diese Association ist so dringend, dass es viele Willenskraft erfordert, um den Kopf unbeweglich zu halten. Doch fast ebenso regelmässig wirkt die compensirende Association, die wir hier zur Sprache brachten, und die wir zur Erklärung der Rollbewegung anzurufen wünschen.

Neigen wir den Kopf *langsam* nach der Schulter, während wir z. B. eine verticale Linie ansehen, dann compensirt die Vorstellung der Bewegung den Uebergang des Bildes auf andere Meridiane; die Linie scheint ihre Richtung nicht zu ändern. Für eine Lichtlinie im Dunkeln ist indessen die Compensation unzureichend: jene scheint dann nach der entgegengesetzten Seite zu neigen und, um vertical zu scheinen, muss sie nach derselben Seite geneigt werden wie der Kopf. Geschehen die Bewegungen *schnell* und dabei abwechselnd links und rechts, dann beantwortet die verticale Linie sie unter allen Umständen mit Bewegungen rechts und links. So wenig absolute Belehrung die Meridiane uns hinsichtlich der Neigung des Kopfes geben, so genau verrathen sie bei Vergleichung die Winkel, unter denen zwei Linien sich im Fixationspunkte kreuzen; und es ist nun sehr begreiflich, dass, wenn das Bild verhältnissmässig schnell von dem einen auf den andern Meridian übergeht, ungeachtet des compensirenden Bewusstseins der Kopfbewegung, Scheinbewegung, als Abstraction aus den Netzhauteindrücken, eintritt. Mehr nun ist, nach dem was wir gesehen haben, nicht nöthig, um den Anstoss zur Rollbewegung zu geben. Gerade dass diese bei schnellen Bewegungen, wobei, wie wir oben gesehen haben, die Scheinbewegung am stärksten ist, sich als vorübergehende Rollbewegung auch stärker entwickelt, ist der sicherste Beweis, dass sie in der Neigung zur Compensation ihren Grund hat, und wir mögen sie damit für genetisch erklärt halten. Andererseits finden wir die Erklärung ihrer relativen Unvollkommenheit in dem weniger starken Zwang, um Meridianlinien als um fixirte Punkte festzuhalten, auf welche letztere sich die oben besprochenen analogen Fälle beziehen, welchen aber die Seitwärtsneigung des Kopfes keinen Abbruch thut.

Die Association zwischen der Rollbewegung und der Seitwärtsneigung des Kopfes ist so innig, dass sie bei geschlossenen Augen, bei Blinden, ja selbst, dem Anscheine nach, bei Blindgeborenen

nicht mangelt. Hieraus zu schliessen, dass sie nicht von den Netzhauteindrücken ausgehen würde, verräth Mangel an Einsicht in den Ursprung des Zusammenhanges unserer Verrichtungen.

Auch kann es nicht befremden, dass die von Rollbewegung abhängige Stellung der Augen, so lange die Seitwärtsneigung dauert, in genügend constantem Grade anhält, um so weniger als diese Stellung zu einer richtigeren Vorstellung betreffs der Richtung im Raume beitragen könnte, wie, im Anschluss an Nagel's Erklärung der Rollbewegung, von Mulder nachgewiesen wurde.

Die merkwürdige Entdeckung von Flourens (1842), dass nach Durchschneidung der halbzirkelförmigen Kanäle des inneren Ohres die Thiere schüttelnde und taumelnde Bewegungen zeigen, hat in unserer Zeit durch die Untersuchungen von Goltz, Mach, Breuer und Brown zu der Theorie geführt, dass die Kanäle Sinneswerkzeuge sein sollten „für das Gleichgewicht des Kopfes und mittelbar des ganzen Körpers". Die Lehre ist die: „dass die Ampullennerven, vermöge ihrer specifischen Energie, jeden Reiz mit einer Drehempfindung beantworten" (Mach).

Genannte Autoren scheinen nun geneigt, alle Augenbewegungen, die in Folge von Bewegungen des Kopfes oder von verändertem Gleichgewichtszustand auftreten, aus dem sogenannten Gleichgewichtsorgan abzuleiten. Breuer besonders spricht immer von Reflex-Bewegungen, in Folge einer Reizung der Nerven der Ampullen. In erster Linie verdient bemerkt zu werden, dass das Wort *Reflex* hier nicht im gewöhnlichen Sinne gebraucht ist. Von Reflexen denken wir uns, dass sie ohne Bewusstsein verlaufen können, und bei der Reizung des Gleichgewichts-Organes ist die resultirende Bewegung untrennbar von der Vorstellung. Und diess führt uns gleich auf den Cardinalpunkt: Gerade die Vorstellung ist die Bedingung der Bewegung, und jeder Factor, der die Vorstellung hervorruft, bestimmt damit auch die davon abhängigen Bewegungen. So überzeugen wir uns leicht, dass alle kleinen Kopfbewegungen, bei der Fixation eines Gegenstandes, *gleichzeitig* durch associirte Bewegung der Augen compensirt werden. Und bemerken wir diess bei Drehung des Kopfes um die verticale und horizontale Axe (vgl. S. 410), so besteht nicht die geringste Veranlassung, um es nicht auf die Rollbewegungen, welche mit Seitwärtsneigung des Kopfes verbunden sind, ebenso anwendbar zu erachten. Müsste hierbei durch Kopf-

bewegung eine Spannung der Endolymphe erzeugt und den Ampullen mitgetheilt werden, um erst dann Reflexbewegung auszulösen, dann würde diese wohl ungefähr $^1/_{10}$ Secunde zurückbleiben, und jede Kopfbewegung würde mit einem Wechsel des Fixationspunktes beginnen. Bei der willkührlichen Bewegung schreiben wir also die Bewegungen des Kopfes und der Augen gleichzeitigen, oder, wenn man will, einem und demselben complicirten Impulse zu. Auch wo wir den Augenblick einer passiven Bewegung vorhersehen können, weiss der Impuls den rechten Moment für die Muskelcontraction zu treffen, ehe noch die passive Bewegung ihren Einfluss fühlen lässt. Im Allgemeinen wappnen wir uns mit unserem Willen gegen das, was wir vorhersehen, und die Augen sind dabei die sichersten Wächter. Mit geschlossenen Augen wird der beste Reiter bei unerwarteten Sprüngen des Pferdes aus dem Sattel geworfen. Nur, wo die Kopfbewegungen nicht vorhergesehen werden, würde vielleicht dem Gleichgewichtsorgan ein Platz eingeräumt werden können. Aber auch dann ist es die Frage, ob die Verschiebung der Bilder auf der Netzhaut nicht schon schneller und sicherer die entsprechenden Bewegungen hervorriefe.

Schon oben (S. 409) wurde bewiesen (Nr. 39, Mundstück mit verticalen Stäbchen), dass die parallele Rollbewegung auf beiden Augen gleichzeitig und in gleichem Grade stattfindet. Auch bemerkte ich, dass »der Controleur der Gesetze von Listing und D.« lehren kann, in wie weit das Gesetz von Listing bei der von Seitwärtsneigung abhängiger Rollbewegung noch gültig bleibt. Diese Frage verdient wohl eine nähere Untersuchung.

### IV. Selbständige symmetrische Rollbewegung.

Wir haben hier von einer Rollbewegung zu handeln, bei der die beiden Augen gleichzeitig nach der Median- oder nach der Temporal-Seite, also symmetrisch, um ihre Blicklinien sich drehen, unabhängig nicht blos von anderen Bewegungen der Blicklinie, was auch von der parallelen Rollbewegung gilt, sondern auch unabhängig von den Bewegungen des Kopfes und Rumpfes. Gross ist diese symmetrische Rollbewegung nicht, aber wichtig ist sie in hohem Maasse, weil ihre Beziehung zu der optischen Funktion so deutlich in die Augen springt.

Meine Versuche mit dem Isoscop führten mich zum Studium dieser symmetrischen Rollbewegung. Ich wünschte mit diesem Apparat

den Stand der Meridiane bei jeder Richtung der Blicklinien zu bestimmen. Aber nun zeigte sich schon bei den ersten Versuchen, dass sich dabei noch andere Factoren geltend machen, und dass namentlich die im Gesichtsfeld anwesenden Gegenstände auf die Lage der Meridiane Einfluss ausüben. Dieser Einfluss musste nun in erster Linie untersucht werden.

Rollbewegung unter dem Drang der Netzhautbilder ist nicht ganz unbekannt. Vor mehr als 25 Jahren theilte ich mit, dass, wenn man durch ein schwaches vor das eine Auge gehaltenes Prisma das Netzhautbild dieser Seite nach innen oder aussen, oder sogar nach oben oder unten, verschiebt, der Drang zum Einfachsehen Bewegungen auslöst, welche die Bilder auf correspondirende Punkte zurückführen. Später nun gelang es Helmholtz, mittels einer besonderen Combination zweier Prismen, das Bild für das eine Auge zur Seite zu neigen, und er fand auch dabei das Bestreben, diese Abweichung, und zwar durch Rollbewegung, zu corrigiren. Schon früher hatte Nagel unter dem Einflusse von in der Ebene der Zeichnung gedrehten stereoscopischen Figuren Rollbewegung entstehen sehen, und Hering, der anfangs Helmholtz widersprochen hatte, musste, nach Wiederholung der Versuche von Nagel, die Thatsache anerkennen. Es ist eine langsam sich entwickelnde Bewegung, nicht ungleich derjenigen, welche auf Verschiebung des einen Netzhautbildes mittelst eines Prisma nach oben oder nach unten folgt. Aber in jener Erscheinung scheint man Nichts weiter gesehen zu haben, als die Wirkung eines abnormen Dranges: war das Auge im Stande, ihm zu gehorchen, so konnte diess — meinte Nagel — darum nicht befremden, weil Rollbewegung, als mit gewissen Bewegungen der Blicklinie associirt, überhaupt dem Auge nicht fremd ist. Ich zweifle, ob Rollbewegung unter abnormem Drange möglich geworden wäre, wofern ihr nicht beim gewöhnlichen Sehen eine selbständige Bedeutung zugekommen wäre. Bevor ich indessen dieser letzteren nachforsche, glaube ich die hervorragendsten Resultate der künstlichen Rollbewegung, wie ich sie nennen möchte, die ich mit dem Isoscop erhielt, anführen zu müssen [1]).

Die Rollbewegung wird mit dem Isoscop gemessen als Veränderung des Winkels, welchen die scheinbar gleich gerichteten Meri-

1) Onderz. physiol. labor. Derde reeks II. 2. S. 45 und Archiv für Ophth. Bd. XXI. 3. S. 100.

diane, namentlich die scheinbar verticalen und horizontalen, mit einander bilden. Vor Allem an den scheinbar verticalen habe ich die Veränderung untersucht. Der Winkel, welchen sie bilden, ist, wie wir gesehen haben, stets positiv und für meine Augen besonders gross, indem er nicht weniger als 3°.3 beträgt. Diess ist der Winkel $V$, unter welchem ich zwei aufrechte Fäden im Isoscop einstelle, um sie parallel erscheinen zu lassen. Setze ich nun diese Versuche lange fort, indem ich durch einen weiten Cylinder auf einen grauen Schirm als Hintergrund blicke, so dass Nichts als die Fäden im Gesichtsfelde sichtbar ist, und immer die Fäden scheinbar parallel einstelle, dann steigt der Winkel allmählich auf 4°.3. Eine Stunde später ist diese Wirkung noch nicht gänzlich geschwunden. Unabhängig von allen Versuchen, steigt $V$ ein wenig im Verlaufe des Tages.

Stelle ich bei dem Versuche die Fäden unter einem grösseren Winkel ein als 3°.3, dann nimmt $V$ rasch zu, vor Allem wenn ich sie abwechselnd (unter geringer Divergenz) zusammenfallen lasse; stelle ich sie unter einem viel kleineren ein, dann nimmt $V$ rasch ab: ich erhielt dadurch in einigen Minuten Schwankungen zwischen 2°.88 und 4°.85.

Ich brachte hinter dem Rahmen des Isoscops zwei Reihen breiter schwarzer Linien, eine Reihe vor dem rechten, eine vor dem linken Auge, und im Rahmen, zur Bestimmung der scheinbar verticalen Meridiane, zwei rothe Schnüre, wie gewöhnlich mit 70 Mm. Abstand von einander, an. Die zwei Reihen konnten parallel gestellt werden, aber beliebig auch unter einem positiven oder negativen Winkel: jedesmal verrieth sich die Neigung, sie durch Rollbewegung unter dem gewöhnlichen Winkel verschmelzen zu lassen. So erhielt ich binnen wenigen Minuten eine Schwankung von $V=4°.65$ bis $V=0°.11$. Durch Abzug der Werthe für $V$ von dem Winkel, worunter die zwei Reihen standen, wurde der Winkel gefunden, bei welchem sie verschmolzen waren. — Dieser Winkel ist bei stereoscopischer Combination wohl immer zu hoch geschätzt, weil man die compensirende Rollbewegung nicht kannte.

Auch wenn man ein Stäbchen, das sich hinter dem Rahmen des Isoscops in der Medianebene befindet und abwechseld vorne und hinten über geneigt ist, bei Convergenz fixirt, macht sich der Einfluss der Halbbilder auf die Stellung der verticalen Meridiane geltend. Ich erhielt damit eine Schwankung zwischen $V=2°.6$ und 4°.98.

Ist bei allen diesen Versuchen auch nur ein einziger horizontaler Faden im Isoscop ausgespannt, so hat dieser die Meridiane in der Gewalt. Weder langes Fortsetzen der Versuche, noch die Richtung der Halbbilder von Linien und Stäbchen vermögen dann den Winkel *V* wesentlich zu verändern.

Die Halbbilder horizontaler Linien beherrschen also sehr deutlich die von verticalen. Dadurch sind sie die Basis des stereoscopischen Sehens. Unter ihrem Einflusse stellen sich die Augen so, dass die besagten Halbbilder nahezu in den scheinbar horizontalen Meridianen zusammenfallen, und in dieser Stellung erhält der Winkel der scheinbar vertikalen erst seine stereoscopische Bedeutung. Die Anweisung ist falsch, sobald künstlich Rollbewegung gefordert wird, um zu erreichen, dass die horizontalen Halbbilder zusammenfallen: richtet man die resp. Blicklinien, mit Ueberkreuzung, auf zwei Systeme von Linien, welche in entgegengesetztem Sinne ein wenig von der horizontalen Richtung abweichen, dann bringt die Neigung, sie zusammenfallen zu lassen, eine solche Drehung um die Blicklinie hervor, und ein verticaler Faden, der durch den Convergenzpunkt geht, scheint nun in der Medianebene, je nach der Drehungsrichtung, sich vorne- oder hintenüber zu neigen. Für diesen merkwürdigen Versuch kann man das Isoscop benutzen [1]).

Unter verschiedenen Umständen kommt nun beim gewöhnlichen Sehen die symmetrische Rollbewegung vor, die wir hier, unter dem Einfluss künstlicher Halbbilder, kennen lernten. In erster Linie, wenn man horizontale Linien ausserhalb der primären Stellung *C* convergirend fixirt. Schon oben (S. 404) habe ich diess erwähnt. Ich machte die Bemerkung, dass der Winkel zwischen den Halbbildern dabei dränge die genannte Primärstellung aufzusuchen. Aber dem kann nicht in allen Fällen entsprochen werden. Der Gegenstand ist unter den gegebenen Umständen nicht wohl verrückbar, und die Kopfbewegungen reichen nicht hin: nun drehen sich die Augen um die Blicklinie und die horizontalen Halbbilder nähern sich der gleichen Richtung. Das Isoscop verräth diess sofort wieder in der Veränderung des Winkels *V*. — Auch beim Sehen und Hantiren von verticalen und von mehr oder weniger geneigten Objecten in der oder nahe der Medianebene kann man eine accommodative Rollbewegung constatiren,

1) Auf die Bedeutung dieser Erscheinungen für das stereoscopische Sehen komme ich bei einer späteren Gelegenheit zurück.

vor Allem wenn die Augen nicht zu sehr unter Controle nahezu horizontaler Linien stehen. Einige wenige Versuche sind ferner ausreichend, um ihre accommodirende Wirkung bei asymmetrischer Convergenz kennen zu lernen. Ruht nun der Blick eine kurze Weile auf einem einzelnem Punkte, dann machen alle im Gesichstfelde anwesenden markirten Punkte und Linien, vorbehaltlich einer gewissen Suprematie der horizontalen Linien, ihren Einfluss auf die Stellung der Augen geltend, besonders jene, worauf die Aufmerksamkeit sich vorzugsweise richtet, im Allgemeinen also solche in der Nähe des direkten Sehens, aber doch auch, wie mich das Isoscop wiederum lehrte, sogar Linien nahe den Grenzen des binoculären Gesichtsfeldes, auf welche man nicht einmal geachtet hatte.

In jeder Stellung suchen also die Augen mit kleinen Schwankungen um die Blicklinie ihren Horopter, in Uebereinstimmung mit den Bildern des Gesichtsfeldes. So äussert sich unbewusst das Streben, den Stand der Augen nach den Forderungen des binoculären Sehens zu richten. In solchem Streben liegt der Ursprung der symmetrischen Rollbewegung eingeschlossen.

---

Beilage I. Im Archiv f. Ophth. Bd. XVIII. 1. S. 53 erschien eine Untersuchung von Herrn Dobrowolsky, deren Resultat ist, dass unter 21 Personen, bei Convergenz in der Primärstellung P, nicht weniger als 14 Mal *negative* Rollbewegung wahrgenommen worden wäre. Diess gab mir Veranlassung, meine Bestimmungen auf viele Personen auszudehnen, aber es hat mir, ebensowenig als anderen selbständigen Forschern, glücken wollen, einen einzigen Fall von dabei vorkommender negativer Rollbewegung anzutreffen. Theilweise wurden die Versuche vorgenommen nach genauer Bestimmung der Primärstellung P, unter Anderen von Engelmann, Bouvin, Mulder, van Rees, Winkler, Grosmann, van der Ven, Goenee. Bei anderen beschränkte ich mich auf das einfache Aufrechthalten des Kopfes, jedenfalls nahezu in der Primärstellung P: bei diesen wurde die Methode angewendet, welche auch Dobrowolsky auf Helmholtz' Rath befolgt hatte, die in der Vereinigung zweier Radien der Volkmann'schen Scheiben, in einem Spiegel-Stereoscop mit drehbaren Spiegeln gesehen, besteht. Man lässt erst die Radien, durch stereoscopische Verschmelzung der kleinen Ringe, welche sie tragen, unter dem Drehen der Spiegel möglichst soweit verfolgen, bis die Blicklinien parallel sind, und während der eine Radius horizontal gestellt ist, dem anderen mit der Hand scheinbar die nämliche Richtung geben. Ist dies geschehen, dann dreht man die Spiegel in entgegengesetzter Richtung, so dass mehr und mehr Convergenz erfordert wird.

Der Beobachter bemerkt, dass die Radien nun nicht mehr parallel erscheinen, sondern eine gebrochene Linie bilden, und wird nun ersucht, den einen Radius so zu drehen, dass sie wieder parallel werden. Constant wird nun diese Drehung in dem Sinne ausgeführt, wie bei positiver Rollbewegung gefordert werden muss.

Eine Uebersicht dieser Versuche giebt die folgende Tabelle:

| Name. | Alter. | Refraction. | Positive Rollbewegung. |
|---|---|---|---|
| Kränchel | 29 | E | 2°.7 |
| Van Moll | 25 | E | 3.4 |
| Engelmann | 29 | M $^1/_{20}$ | 3.3 |
| Küster | 28 | E | 3.3 |
| Lentink | 29 | M $^1/_{40}$ | 2.2 |
| Luchtmans | 22 | E | 1.2 |
| V. D. Post | 21 | E | 4. |
| Mulder | | E | 4.05 |
| Frank | 32 | M $^1/_{10}$ | 4. |
| Callan | | M | 5.2 |
| Backer | 24 | E | 5. |
| Van Lunteren | 25 | E | 4.25 |
| V. D. Loo | 21 | E | 4. |
| V. D. Heuvel | 26 | Ah | 2. |
| Paling | 19 | E | 5.25 |
| V. D. Ven | 22 | E | 5.5 |
| V. D. Meulen | 25 | E | 4.3 |

Nach diesen Resultaten erscheinen mir diejenigen von Dobrowolsky problematisch. Vielleicht war nicht genügend auf die Primärstellung Acht gegeben: bei verhältnissmässig kleinen Abweichungen davon hätten Engelmann, Van Moll, Küster und Grossmann negative Rollbewegung verrathen können.

Dasselbe gilt von Dastich, ich meine auch von Nagel und Claparède.

Beilage II. a. Schon 1873 habe ich einige Untersuchungen über die Primärstellung *C* (vergl. Onderzoek. Lab. III. p. 380) angestellt, wobei ich das Isoscop anwandte, und habe damals schon bemerkt, dass bei starker Convergenz der Winkel *s* abnimmt und nun anfänglich für geringere Convergenz kleiner bleibt, bei Divergenz dagegen ein wenig wächst. So verzeichnete ich:

1. Converg. auf 150 Mm. nach gewöhnlicher Beschäftigung S=40°.1
2. » » 150 » nach 2 Min. Divergenz . . . . . 44.5
3. » » 150 » unmittelbar darauf . . . . . 41.8
4. » » 100 » » » . . . . . 33.20
5. » » 150 » » » . . . . . 36.55
6. » » 150 » » » . . . . . 36.95
7. » » 150 » nach 3 Min. Divergenz . . . . . 45.33
8. » » 150 » unmittelbar darauf . . . . . 41.76

Jetzt die Versuche mit dem Horopteroscop wiederholend, erhielt ich gleiche Resultate. Einige Reihen, an verschiedenen Tagen gewonnen, mögen hier Platz finden.

| Mm. | I. | II. |
|---|---|---|
| Conv. auf 977. | 42. | 45. |
| 648. | 42. | 44. |
| 234, | 40. | 41. |
| 212. | 40.6 | 41.2 |
| 194. | 35.7 | 37.2 |
| 178. | 37. | 38. |
| 153. | 36.7 | 35.2 |
| 134. | 34.5 | 33.7 |
| 120. | 32.7 | 35.3 |

Bei maximaler Convergenz erhielt ich als Maximum 27°.2, bei der gewöhnlichen Convergenz einen Spielraum zwischen 37° und 40°. — Für die sehr verschiedenen Werthe des Winkels *s*, auch bei der nämlichen Convergenz, findet man S. 402 im Texte eine befriedigende Erklärung.

Bei den meisten Beobachtern wurde für verschiedene Convergenzgrade *s* nahezu gleich gefunden. So betrug an vier verschiedenen Tagen bei Herrn Bouvin *s* im Mittel 24°.8, 24° 3′, 24° 1′ und 23° 2′ mit ziemlich grossen Abweichungen in den einzelnen Wahrnehmungen, aber ohne deutlichen Einfluss der Convergenzgrade. Dasselbe gilt für Goenee, dessen Mittel an drei verschiedenen Tagen 25° 7′, 26° 5′ und 25° 7′ betrugen. Mulder fand ungefähr 35°, Winkler 25°, van Rees 27°, van de Ven zwischen 20° und 30°. In seinem Binocularsehen (S. 96) lesen wir, dass Hering für sich selbst ungefähr 20° fand, und dass für Meissner eine ziemlich grosse positive, für von Recklinghausen $S=35°$ angenommen werden darf. Auch Volkmann und Welcker hatten positive Winkel. Dass das Nämliche auch für die verschiedenen Beobachter gilt, die in der Primärstellung *P* bei Convergenz eine positive Rollbewegung wahrnahmen (siehe Beilage I) kann nicht bezweifelt werden.

Dem gegenüber steht nun eine kleinere Zahl Anderer, bei welchen *s* sehr klein oder sogar $=0$ wurde, wie Helmholtz, Engelmann und Grossmann, auch Nagel (wie ich mich zu erinnern glaube); aber von negativen Werthen habe ich, ausser den 14 von 21 des Herrn Dobrowolsky, nirgends einen Fall erwähnt gefunden.

b. Mit dem Horopteroscop wurde nun gleichzeitig die Umdrehung der Ebene bestimmt, worin die scheinbar verticalen Meridiane sich schneiden. Die Bestimmungen liessen an Genauigkeit wohl zu wünschen übrig, aber bei allen war doch der Zusammenhang mit dem Winkel $V-H$ und die Abnahme von $\alpha$ mit zunehmender Convergenz leicht zu constatiren.

Einige Reihen mögen hier Platz finden:

I.

| | $s$ | $a$ |
|---|---|---|
| Converg. auf 1000 Mm. | 45°.9 | 37°. |
| » » 750 » | 44.8 | 29.3 |
| » » 500 » | 43.3 | 25.5 |
| » » 234 » | 37.6 | 7.4 |
| » » 150 » | 33.9 | 4.7 |
| » » 126 » | 34. | 4. |
| » » 108 » | 33.5 | 3.3 |
| » » 95 » | 33.5 | 2.75 |
| » » 84 » | 32.3 | 2.6 |

II.

| Converg. auf $\alpha$, | gefunden. | Converg. auf $\alpha$, | ($m = 1° 25'$) berechnet. |
|---|---|---|---|
| 976 | 35°.2 | 999°.4 | 34°.17 |
| 733 | 27.7 | | |
| 488 | 20., 22. | 498.9 | 18.50 |
| 231 | 11.3, 9.7 | 197.3 | 11.34 |
| | | 146.4 | 7.46 |
| 142 | 6.3, 6.55 | | |
| 122 | 5.15 | | |
| 100 | 3.2 | 94.5 | 3.54 |

Aus verschiedenen Gründen ist eine grosse Genauigkeit für die Werthe von $\alpha$ nicht zu erreichen. Der Apparat lässt keine scharfe Bestimmung zu, aber ich bin auch überzeugt, dass die schärfsten Bestimmungen grosse Abweichungen verrathen würden, weil die Sehfunktion selbst einen grossen Spielraum zulässt. — Die Berechnung stösst auf die Schwierigkeit, für $V-H$, und damit $m = {}^1/_2(V-H)$ correcte Zahlen zu finden. Das Schwankende von $V$ und $H$ macht gleichzeitige Bestimmung beider nothwendig, und dabei lieferten verschiedene Methoden wieder unter einander abweichende Resultate. Auch mit den absoluten Werthen von $V$ und $H$, durch Rollbewegung, wechselt der Werth von $V-H$, eine Thatsache, wovon ich nicht im Stande bin Rechenschaft zu geben.

In der Fortsetzung meiner Untersuchung, die in den Onderzoekingen D. III. 2. S. 45 und im Archiv für Ophth. B. XXI. 3. enthalten ist, wird die Bestimmung von $H$ und von $V-H$ näher zur Sprache gebracht.